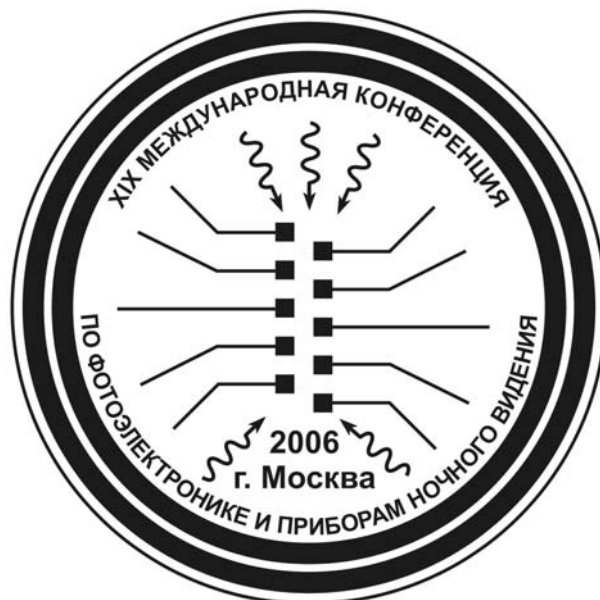


60 лет
Государственному научному центру РФ
ФГУП «НПО «Орион»



**XIX Международная
научно-техническая конференция
по фотоэлектронике
и приборам ночного видения**

23-26 мая 2006

Москва, Россия

ТЕСИСЫ ДОКЛАДОВ

XIX Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения организована

*Государственным научным центром
Российской Федерации –
Федеральным государственным унитарным
предприятием «НПО «Орион»*

и проводится при поддержке:

*Министерства образования и науки РФ,
Федерального агентства по промышленности,
Федерального агентства по науке и инновациям,
Российской Академии наук,
Правительства г. Москвы,
Российского отделения Международного общества
по оптической технике (SPIE/RUS)*

**XIX Международная научно-техническая конференция
по фотоэлектронике и приборам ночного видения**

23-26 мая, 2006 • Москва, Россия

Т Е С И С Ы Д О К Л А Д О В

**Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное государственное унитарное предприятие НПО «Орион»
Москва, 2006**

Международный программный комитет

Филачев А.М., *председатель*, ФГУП «НПО «Орион»
Пономаренко В.П., *зам. председателя*, ФГУП «НПО «Орион»
Дирочка А.И., *зам. председателя*, ФГУП «НПО «Орион»
Гайдукова И.С., *ученый секретарь*, ФГУП «НПО «Орион»

Члены комитета:

Алферов Ж.И. – ФТИ РАН
Асеев А.Л. – ИФП СО РАН
Бугаев А.С. – МФТИ, Россия
Гуляев Ю.В. – ИРЭ РАН
Ежов В.П. – ОАО «Завод Сапфир», Россия
Елютин А.В. – «Гиредмет», Россия
Иванов В.П. – ФНПЦ ГИПО, Россия
Рыжий В.И. – University of AIZU, Япония
Крохин О.Н. – ФИ РАН
Kumar Vikram – Solid State Phys. Lab., Индия
Кудрявцев Н.Н. – МФТИ, Россия
Пожела Ю.К. – ИФП, Литва
Покрышкин В.И. – ЦКБ «Пеленг», Белоруссия
Попов Г.Н. – ЦКБ «Точприбор», Россия
Rogalski Antoni – WAT, Польша
Сагинов Л.Д. – ФГУП «НПО «Орион», Россия
Салаев Э.Ю. – Институт физики, Азербайджан
Сизов Ф.Ф. – ИФП НАНУ, Украина
Степанов Р.М. – ЦНИИ «Электрон», Россия
Яковлев Ю.П. – ФТИ РАН

Организационный комитет

Филачев А.М., *председатель*, ФГУП «НПО «Орион»
Корнеева М.Д., *заместитель председателя*, ФГУП «НПО «Орион»
Пономаренко В.П., *заместитель председателя*, ФГУП «НПО «Орион»
Романишина М.И., *ответственный секретарь*, ФГУП «НПО «Орион»

Члены комитета:

Автономов В.П. – ФАНИ
Акопов Э.И. – SPIE/RUS
Волков К.А. – ФГУП «НПО «Орион»
Гринченко Л.Я. – ФГУП «НПО «Орион»
Дирочка А.И. – ФГУП «НПО «Орион»
Кабанов А.Г. – Минобрнауки
Проскурин В.М. – ФГУП «НПО «Орион»
Потапов А.В. – ФАП
Сагинов Л.Д. – ФГУП «НПО «Орион»
Токарев А.М. – ФГУП «НПО «Орион»
Шабаров В.В. – Правительство г. Москвы

Общая информация

Время и место проведения

Конференция проводится 23-26 мая в ФГУП «НПО «Орион» по адресу: г. Москва, ул. Косинская, д.9, корпус 2Г (вблизи станции метро «Выхино»).

Регистрация

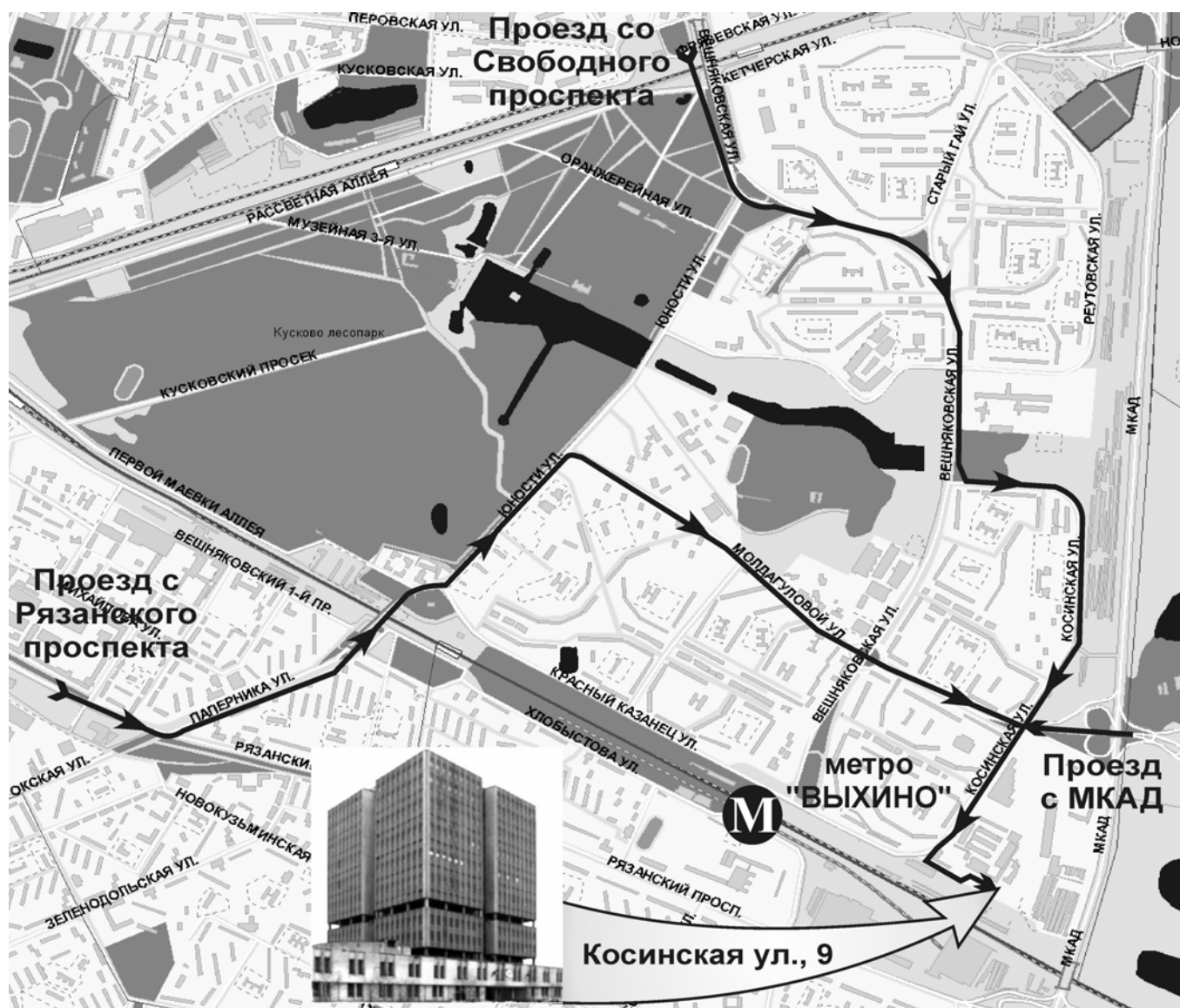
Регистрация участников, выдача материалов конференции и отметка командировочных удостоверений проводятся 22 мая 2006 г. с 12.00 до 18.00 и 23 мая 2006 г. с 8.30.

Организационный взнос

Установлены следующие размеры организационного взноса, включающего оплату за участие в научной и социальной программе, издание тезисов и трудов конференции. Оргвзнос для зарубежных участников составляет 135 EUR, для участников из России и стран СНГ сумму, эквивалентную 40 EUR (20 EUR – для студентов и аспирантов, 30 EUR для докладчиков). Взнос может быть оплачен при регистрации.

Проезд на конференцию:
Метро «Выхино»,
1-й вагон из центра, выход налево – на улицу Косинская

111538, Москва, ул. Косинская, дом 9
Тел. (495)-374-94-00, (495)-374-81-20, (495)-374-40-41



П01 Инфракрасная фотоэлектроника в России (к 60-летию со дня основания НИИ 801)

Пономаренко В.П., Филачев А.М.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Описаны основные этапы становления (1946-2006 гг.) инфракрасной техники и электронной оптики в СССР и Российской Федерации после организации в СССР Научно-исследовательского института № 801 (1946 г.), ставшего впоследствии НИИ прикладной физики (1966 г.) и головным институтом Научно-производственного объединения «Орион».

Приведены наиболее значимые результаты по созданию элементной базы ИК-фотоэлектроники, элионной техники, оптико-электронной аппаратуры, полученные к 60-летнему юбилею со дня образования объединения.

П02 Фотоприемные устройства для тепловизионной аппаратуры второго поколения

Бурлаков И.Д., ¹Дегтярев Е.В., Пономаренко В.П., Филачев А.М.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹ФГУП «22 ЦНИИ МО», Мытищи, Московская обл., Россия

Приведены результаты работ по созданию матричных фотоприемных устройств 2-го поколения для основных спектральных диапазонов 1..3, 3...5 и 8-12 мкм на основе халькогенидов свинца (PbS, PbSe), антимонида индия (InSb) и твердых растворов теллурида кадмия-ртути ($Cd_xHg_{1-x}Te$).

Рассмотрены фотоэлектрические и эксплуатационные характеристики фотоприемных устройств со схемами предварительной обработки фотосигналов в охлаждаемой зоне форматов 2x256, 4x288, 256x256, 384x286, 768x576 ($CdHgTe$), 256x256 (InSb), 2x128 (PbS, PbSe).

Предложены основные области применения матричных фотоприемных устройств в оптико-электронной аппаратуре различного назначения.

П03 Состояние и перспективы применения термоэлектричества в оптоэлектронике

Анатычук Л.И., Разиньков В.В.

Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

В работе приводится описание двух основных возможностей применения термоэлектричества в фотоприемных устройствах:

- для охлаждения фотоприемников (эффект Пельтье);
- для создания неселективных сенсоров (эффект Зеебека).

Анализируются фотоприемники, которые удобно сочетаются с термоэлектрическим охлаждением и соответствующие им рациональные области температур охлаждения. Приводятся данные о достижениях в области компьютерного проектирования как термоэлектрических холодильников для фотоэлектронных изделий, так и в целом оптоэлектронных систем с термоэлектрическим холодильником. Рассматриваются особенности технологии изготовления термоэлектрических модулей для оптоэлектронных устройств, в том числе и для случаев эксплуатации в вакууме. Даются сведения о тенденциях улучшения термоэлектрической добротности материалов, антидиффузионных слоев, механической и ресурсной стойкости. Приводятся примеры эффективных сочетаний оптоэлектронных устройств с термоэлектрическим охлаждением.

Приводятся также данные об использовании продольных и поперечных эффектов Зеебека для создания термоэлектрических сенсоров, особенности их конструкций и технологий производства параметры и характеристики приемников, рациональные области применений. Рассматриваются пути дальнейшего улучшения качества таких изделий.

П04 Большие смотрящие матрицы на КРТ фирмы Sofradir

Филипп Триболе

SOFRADIR, 43-47 rue Camille Pelletan, 92290 CHÂTENAY-MALABRY, France

Phone: 33.4.76.28.77.56 Fax : 33.4.76.53.85.97, E-mail: philippe.tribolet@sofradir.com

Современное состояние характеризуется все увеличивающимся числом элементов «смотрящих» матриц и предложениями методов решения систем для различных областей ИК-спектра. Фирма Sofradir достигла еще более высокого совершенства в области материала и технологии соединений КРТ, а также в области гибридной технологии, чтобы воспроизвести новые высокие характеристики «смотрящих матриц».

Большое количество технологических усовершенствований было сделано в области однородности матриц, считывающих схем с новыми функциями преобразования аналоговых форм в цифровые, и, наконец, надежности охлаждаемых приборов, радикально возросшей в последние годы.

Представлены матрицы для среднего ИК-диапазона (MWIR) 640x512 и 1280x1024 элементов на основе HgCdTe, а также на 288x384 элементные высококачественные смотрящие матрицы HgCdTe дальнего (LWKR) ИК-диапазона, чувствительные в широком спектральном диапазоне.

Наконец, представлены тенденции развития ИК-фотоприемников.

Ключевые слова: ИК-детекторы, LW, MW.

П05 Требования к перспективным фотоприёмным устройствам ИК-диапазона

Белоусов Ю.И.

Филиал ФГУП «ЦНИИ «Комета» «НПЦ ОЭКН», Санкт – Петербург, Россия

В соответствии с местом и ролью фотоприёмных устройств (ФПУ), как ключевого функционального узла инфракрасных приборов (ИКП), развитие ФПУ должно иметь опережающий характер, как по временной реализации, так и в части выработки технической идеологии облика перспективных ФПУ. Представляется целесообразным расширить традиционные рамки настоящей конференции, и помимо обсуждения уже достигнутых результатов провести обсуждение проблем создания ФПУ нового поколения, облик которых определяет облик перспективных ИКП.

С позиций разработчика ИКП, то есть, потребителя ФПУ, рассматриваются две проблемы, связанные с развитием ИК техники и решение которых возможно лишь при объединении усилий разработчиков и потребителей ФПУ. Эти проблемы в самом общем виде можно обозначить как выработку облика нового поколения ФПУ и создание системы параметров, необходимой и достаточной для исчерпывающей характеристики современных и перспективных ФПУ.

Новое поколение ФПУ не есть результат простого увеличения количества и чувствительности элементов. ФПУ должны иметь новое качество, состоящее в возможности регистрировать те физические параметры оптического поля, которые в текущей фоноцелевой ситуации являются носителями отличительных признаков целей и фонов.

В частности, положение и ширина рабочего спектрального диапазона должны в реальном масштабе времени подстраиваться под условия наблюдения, С точки зрения эффективности ИКП в целом может оказаться более выгодным «обменять» возможную сверхчувствительность к температурному контрасту на способность регистрировать, например, поляризационные особенности ИК-излучения.

Из современных представления о динамике процессов генерации, распространения и регистрации оптических сигналов можно утверждать, что перспективные ИКП должны иметь возможность адаптации к текущим условиям наблюдения, причём не только по времени экспозиции, но и по спектральным, поляризационным и другим характеристикам. Таким образом, одной из существенных черт ФПУ нового поколения является способность оперативного изменения характеристик для обеспечения адаптации ИКП в целом к условиям наблюдения.

Вторая проблема связана с первой и заключается в том, что в современной практике описания характеристик ФПУ используется слишком большое количество параметров, удобных конкретному разработчику, но не позволяющих нетривиальным образом сравнивать разные ФПУ или оценивать эффективность их применения в ИКП. Ощущается настоятельная необходимость выработать с участием основных разработчиков и потребителей ФПУ современную систему параметров ФПУ и методик их измерения с учётом нынешнего уровня и перспективы развития инфракрасной техники.

Предлагается рассмотреть возможность создать инициативную группу, которая проработает эти проблемы с позиций выработки единой научно-технической политики и на следующей конференции изложит полученные результаты, а также сформулирует обоснование постановки НИР по выявленным ключевым вопросам,

П06 Гетероэпитаксиальные структуры теллурида кадмия и ртути для инфракрасных фотоприемников

Алфимов С.А., Анциферов А.П., Белоконев В.М., Варавин В.С., Дворецкий С.А., Дегтярев Е.В., Карташов В.А., Крайлюк А.Д., Михайлов Н.Н., Ремесник В.Г., Сабина И.В., Смирнов Р.Н., Сидоров Ю.Г., Асеев А.Л.
Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия
пр. Ак. Лаврентьева 13, 630090, E-mail: sidorov@isp.nsc.ru

Развитие тепловизионных систем идет по пути применения большеформатных и двухцветных матриц. Для разработки и изготовления таких матриц основным материалом являются гетероэпитаксиальные структуры (ГЭС) теллуридов кадмия и ртути (КРТ), выращиваемые методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ).

Нами продолжены работы на технологическом комплексе по производству ГЭС КРТ МЛЭ в направлениях изучения физико-химических процессов роста, преднамеренного легирования, механизмов образования дефектов с целью создания основ технологии материала для инфракрасных фотоприемников 3-его поколения.

Проведена разработка технологии производства легированных индием и мышьяком ГЭС КРТ МЛЭ на подложках из арсенида галлия (АГ). При легировании индием в процессе роста получены ГЭС КРТ МЛЭ (АГ) электронного типа проводимости. Найдено, что концентрация основных носителей заряда в интервале $2 \times 10^{14} - 2 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ линейно изменяется с изменением концентрации внедренного в решетку индия. Определено, что уменьшение подвижности основных носителей заряда при 77К с увеличением концентрации основных носителей заряда качественно соответствует рассеянию носителей на ионизированных атомах и на полярных оптических фононах. Время жизни неосновных носителей заряда при 77К лимитируется процессами Оже-рекомбинации для концентраций основных носителей заряда более $5 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$. При концентрациях основных носителей заряда менее $5 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ время жизни определяется рекомбинационными процессами на центрах Шокли-Холла-Рида. Проведен термодинамический анализ процесса внедрения индия в подрешетку металла и определены энергетические характеристики.

При легировании мышьяком гетероэпитаксиальных слоев КРТ с использованием потока As_4 найдено, что после роста ГЭС КРТ МЛЭ имеют электронный тип проводимости, концентрация носителей прямо пропорциональна величине потока. Для активации мышьяка проводился двухстадийный термический отжиг легированных ГЭС КРТ МЛЭ. После отжигов наблюдается конверсия типа проводимости и ГЭС КРТ МЛЭ, легированные мышьяком, имеют следующие электрофизические параметры: концентрация дырок $(8 \div 20) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, их подвижность $400 \div 500 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$, время жизни неравновесных носителей заряда $100 \div 300 \text{ нс}$ (для $X_{\text{CdTe}} \sim 0,22-0,23$). Время жизни в таком материале более чем на порядок превышает время жизни в вакансионном КРТ р-типа.

На основе детальных исследований механизмов формирования V-дефектов разработаны технологические приемы снижения их плотности до уровня $200-300 \text{ см}^{-2}$.

П07 Тепловизор второго поколения с тремя полями зрения

Алеев Р.М., Бусарев А.В., Егорова В.В., Краюшкина Л.К., Малеваный П.П.,
Насибуллин Р.А., ¹Пономаренко В.П., ¹Соляков В.Н., ¹Филачев А.М.

ЗАО НПФ «Оптоойл», Казань, Россия

¹ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработан и изготовлен тепловизор 2-го поколения с 3-я полями зрения с использованием многорядного фотоприемного устройства (МФПУ). МФПУ содержит 4x288 фоточувствительных элементов на основе КРТ фотодиодов и обеспечивает реализацию режима временной задержки и накопления (ВЗН). Размеры ФЧЭ составляют 28x28 мкм, длинноволновая граница фоточувствительности - 10.5 – 11.5 мкм.

Особенностью разработки является наличие трех полей зрения, что позволяет использовать его для решения задач ориентирования на местности, поиска, обнаружения и распознавания объектов в различных областях гражданского и военного назначения.

| | Режимы работы | | |
|--------------------------------|-----------------|-------------|---------------|
| | Поиск | Обнаружение | Распознавание |
| Поле зрения, ° | 20,4 x 27 | 5,1 x 6,7 | 1,5 x 2,0 |
| Элементарное поле зрения, мрад | 1,33 | 0,33 | 0,1 |
| Габариты, мм | 490 x 245 x 390 | | |
| Масса, кг * | 20 | | |
| Энергопотребление, Вт, * | 115 | | |

Поле зрения формируется за счет сканирования колеблющимся с частотой 50 Гц по пилообразному закону плоским зеркалом, установленным в параллельных пучках во входном зрачке четырехлинзового короткофокусного объектива, имеющего промежуточное изображение для ввода калибровочных источников излучения во время обратного хода сканирующего зеркала и ломающее зеркало для выполнения чересстрочного сканирования. Чересстрочная развертка и трехкратный опрос линейки за время сканирования изображения между соседними фоточувствительными элементами позволяет получить полноформатный кадр 576x768 электронных пикселей. Тепловизор имеет параллельно расположенные входное окно широкого поля зрения и входное окно четырехлинзовой телескопической насадки (трехлинзовый объектив и однолинзовый окуляр) с дискретно изменяющимся увеличением. Смена полей зрения происходит за счет разворота и фиксации в трех положениях вращающегося оптического узла, состоящего из двух пар линз и наклонного зеркала, конструктивно встроенного в телескопическую насадку. В широком поле обзор пространства осуществляется через наклонное зеркало, в среднем и узком полях – через телескопическую насадку. Фокусировка в диапазоне температур -50...+50С производится подвижкой первой линзы короткофокусного объектива в широком поле и подвижкой второй линзы объектива телескопа в среднем и узком полях. В тепловизоре используется блок цифровой обработки сигналов МФПУ [1], который обеспечивает суммирование сигналов с задержкой для реализации режима ВЗН, коррекцию неоднородности чувствительности и разброса уровней выходных сигналов МФПУ с использованием двух опорных регулируемых источников оптических сигналов, выполненных с использованием элементов Пельтье.

1. Соляков В.Н., Медведев А.С., Катаев О.В., Петручук И.В., Трунов Г.Л. Блок электронной обработки сигналов многорядных матричных фотоприемных устройств. // Тезисы XVIII-й МНТК по фотоэлектронике и приборам ночного видения. – М., 2004.

П08 Инжекционные фотодиоды

Стафеев В.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Новый класс полупроводниковых фотоприемников с внутренним усилением и высокой фоточувствительностью в области собственного, примесного, далекого инфракрасного и субмиллиметрового излучения – инжекционные фотодиоды (ИФД), предложен в [1]. При высоких уровнях инжекции концентрации неравновесных электронов и дырок равны и значительно превышают концентрацию равновесных. Они определяют проводимость базы, толщина которой в несколько раз превышает длину диффузионного смещения неосновных носителей

Освещение повышает концентрацию носителей и снижает сопротивление базы и падение напряжения на ней. Это приводит к увеличению напряжения на *p-n*-переходе и усилению инжекции носителей в базу. Это дополнительно снижает её сопротивление, усиливает инжекцию и т.д. Положительная обратная связь и обеспечивает инжекционное усиление первичного фототока.

Освещение из примесной области спектра изменяет заполнение примесных уровней, что не только приводит к изменению концентрации неравновесных носителей, но и к изменению их распределения и проводимости базы со всеми вытекающими последствиями. Поглощение излучения свободными носителями изменяет их энергию и подвижность. Фоточувствительность на этом эффекте возрастает с ростом длины волны и простирается до субмиллиметрового диапазона спектра. Именно эти эффекты обеспечивают дополнительное “параметрическое” усиление фототока и вносят основной вклад в усиление фототока в ИФД.

Инжекционный механизм усиления обеспечивает примерно одинаковое усиление как фотосигнала, так и шумов, поэтому обнаружительная способность ИФД не хуже чем у аналогичных фоторезисторов. Фоточувствительность ИФД резко возрастает с ростом пропускного тока. Коэффициент усиления может достигать 10^5 - 10^6 .

При малых прямых токах фоточувствительность в области собственного поглощения намного больше, чем в области примесного. Однако примесная фоточувствительность при больших токах может превысить собственную [2]. Высокая фоточувствительность наблюдается, в отличие от обычных фотодиодов, при освещении со стороны противоположной *p-n*-переходу [2]. Для фотоприёмников инфракрасного диапазона используются легированные примесями *Ge*, *Si*, *GaAs* и узкозонные полупроводники. Высокая фоточувствительность в области примесного поглощения впервые обнаружена в фотодиодах из германия с примесью золота [3].

Для ультрафиолетового диапазона используются соединения *GaP*, *GaP_xAs_{1-x}* и *GaAs*, *ZnS* и другие широкозонные полупроводники. Они обладают фоточувствительностью в области спектра 200-900 нм и имеют широкий динамический диапазон в пределах $(10^{-12} - 10^{-2})$ Вт/см². Наилучшими параметрами обладают ИФД на основе арсенида галлия, легированного *Cr*, и ИФД с гетеропереходом *GaAlAs-GaAs*. Чувствительность достигает 500 А/Вт. Пороговая чувствительность при 300 К $\sim 10^{-14}$ ВтГц^{-1/2}, а при 77 К $\sim 10^{-15}$ ВтГц^{-1/2}.

Важными достоинствами ИФД являются их технологичность, повышенная временная стабильность и надежность, поскольку они работают в пропускном направлении и роль *p-n*-переходов сводится только к обеспечению хорошей инжекции неосновных носителей в базовую область.

1. В.И.Стафеев ФТТ, т.1, в.6, с.841 (1959).
2. И.М.Викулин, Ш.Д.Курмашев, В.И.Стафеев. Фотоприемники с инжекционным усилением. // М. ЦНИИ “Электроника” (1989).
3. А.А. Лебедев, В.И.Стафеев, В.М.Тучкевич. ЖТФ, т. XXVI, № 10, с.2131 (1956).

П09 Органические материалы и структуры для фотоэлектроники

Ермаков О.Н., ¹Каплунов М.Г., ¹Ефимов О.Н., Стахарный С.А.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

¹*Институт проблем химической физики АН, Черноголовка, Московская обл., Россия*

Наряду с дисплейными применениями [1] органические материалы и структуры представляют существенный интерес также и для других оптоэлектронных применений, включая фотоэлектронику.

Приведён краткий обзор новых отечественных органических материалов, включая *DA-BuTAZ*, *Zn (OB – PDA)*, *Zn (OBCG)₂*, *Zn (OBBA)*, *PTA*.

Представлены экспериментальные данные по их оптическим характеристикам в широком спектральном диапазоне, включая спектры оптического поглощения и люминесценции. Отмечается большой стоксовский сдвиг между полосами поглощения и люминесценции

Исследованы двухслойные приборные органические структуры. Представлены данные по их вольт – амперным и фотоэлектрическим характеристикам. Установлено, что эти структуры обладают фоточувствительностью в УФ – области спектра, при этом максимум спектров фоточувствительности располагается при $\lambda \sim 380$ нм.

Проведено сравнение органических и неорганических фотоприёмников. Обнаружен ряд различий, а именно: степенная зависимость тока от напряжения смещения и существенное возрастание фоточувствительности с напряжением смещения.

1. Ермаков О.Н. Прикладная оптоэлектроника. М.: Техносфера.-2004 г.

П10 Киноформно-асферическая элементная база ГИПО для инфракрасной области спектра

Грушин В.В., Иванов В.П., Козлов С.Д., Лукин А.В., Редькин С.Н.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

В течение многих лет ФГУП НПО ГИПО выполняет исследования и разработки и осуществляет серийный выпуск элементов дифракционной и асферической оптики и изделий на их основе. Высокая точность формообразования асферических поверхностей линз и зеркал из оптического стекла, кварца, ситалла, кремния, германия, оптической керамики и других материалов обеспечивается созданными технологиями, в основе которых лежит использование специальных полноразмерных инструментов и лазерно-голографической контрольной аппаратуры, в которой синтезированные голограммы выполняют функции либо образцовых оптических элементов, либо оптических компенсаторов.

Совместное применение асферических и киноформных элементов позволяет эффективно корректировать основные виды aberrаций и открывает возможность построения на этой основе объективов с высокой разрешающей способностью в широкой области спектра. При этом киноформы позволяют многократно снизить хроматические aberrации и проектировать объективы с использованием только одного типа материала. Это особенно важно при разработке ИК-объективов для области спектра 3-5 мкм, где дисперсия применяемых оптических материалов (германий, кремний, оптокерамика) существенно выше, чем в диапазоне 8-12 мкм.

Киноформные структуры могут быть выполнены непосредственно на асферических поверхностях, что позволяет достичь наибольшей компактности изделий.

В последние годы в ГИПО разработаны, изготовлены и использованы для комплектации собственной тепловизионной продукции, а также для поставки на экспорт более сотни ИК объективов 15 моделей, в том числе 5 моделей (около 50 штук) для области спектра 3-5 мкм.

В докладе излагаются принципы синтеза киноформных корректоров и их оптимального введения в центрированные оптические системы. Приводятся результаты тестирования различных моделей ИК объективов.

П11 Быстродействующие GaInAsSb/GaAlAsSb и InAs/InAsSbP p-i-n фотодиоды для спектрального диапазона чувствительности 2,0-4,0 мкм

Яковлев Ю.П., Андреев И.А.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

Тел.: (812) 2479956, Факс: (812) 2470006

e-mail: yakovlev@iropto.ioffe.rssi.ru

Спектральный диапазон 2,0-4,0 мкм представляет значительный интерес для разработчиков аппаратуры, применяемой в лазерной диодной спектроскопии газов и молекул, системах лазерной дальнометрии и локации, медицинской аппаратуре, аппаратуре экологического мониторинга. Диодно-лазерная спектроскопия высокого разрешения и системы лазерной дальнометрии и локации на основе твердотельных лазеров (Ho:YAG ($\lambda=2.06$ мкм), Er:YAG: ($\lambda=2.94$ мкм)) нуждаются в высокоскоростных эффективных фотодиодах среднего инфракрасного спектрального диапазона. Более того, одним из многообещающих применений является высокочастотная связь по открытому атмосферному каналу. Фотодиоды для всех этих применений должны одновременно удовлетворять ряду требований: иметь высокую эффективность, иметь высокое быстродействие и минимальный уровень шумов в рабочей полосе частот.

Сообщается о последних достижениях в разработке p-i-n фотодиодов на основе GaInAsSb/AlGaAsSb и InAsSbP/InAs, изготовленных как методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ), так и методом газофазной эпитаксии из металлорганических соединений (МОГФЭ).

Рассматриваются результаты, полученные для быстродействующих высокоэффективных GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb фотодиодов для спектрального диапазона 1.5–2.5 мкм. Нами разработана широкая гамма фотодиодов на основе гетероструктур **GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb** с диаметрами фоточувствительной площадки от 0,075 мм до 2,8 мм. Отличительной особенностью фотодиодов является высокая токовая монохроматическая чувствительность в максимуме спектра ($\lambda_{\max}=2,1-2,3$ мкм) достигающая значений 1,0-1,2 А/Вт, высокое быстродействие- полоса пропускания фотодиодов с площадкой 0,075 мкм достигает значений 1,5-2 ГГц, малое время отклика 100-300 пс, низкое значение плотности обратных темновых токов - при обратном смещении 0,2-0,5 В значение плотности темнового тока достигает значений $(1-3) \cdot 10^{-3}$ А/см². Обнаружительная способность фотодиодов в максимуме спектральной чувствительности достигает величины $(5-8) \cdot 10^{10}$ см Вт⁻¹ Гц^{1/2}.

Также представлены основные параметры, достигнутые на высокоэффективных быстродействующих InAs/InAsSbP фотодиодах, выращенных методом МОГФЭ с широкозонным «окном» из InAsSbP (содержание Фосфора ($P \geq 0.5$)) для спектрального диапазона 2.0-3.6 мкм.

Выращивание фотодиодных гетероструктур осуществлялось в обычном реактор-камере горизонтального тапа при атмосферном давлении. Арсины, фосфины, триметил индия и триметил сурьмы использовались в качестве источников, составляющих полупроводниковое соединение. Гидриды разбавлялись в водороде до 20% концентрации. Температура роста составляла 600⁰С для InAs и 520⁰С для твердого раствора InAs_{0.27}Sb_{0.23}P_{0.50}, соответственно. InAs/InAsSbP фотодиоды изготавливались методом стандартной фотолитографии с диаметрами чувствительных меза - площадок в 200-500 мкм. Чувствительность фотодиодов составила величину $S = 1.6$ А/Вт при $T = 77$ К и $S = 1.4$ А/Вт при $T = 300$ К, соответственно. Обнаружительная способность изменялась от значения $D^* = 1.2 \times 10^{11}$ см \times Гц^{1/2} \times Вт⁻¹ при $T = 77$ К до $D^* = 10^9$ см \times Гц^{1/2} \times Вт⁻¹ at $T = 300$ К.

**У01 Матричное фотоприемное устройство смотрящего типа
формата 256x256 элементов, интегрированное
с микрокриогенной системой охлаждения**

Болтарь К.О., Бурлаков И.Д., Дерюгин М.В., Яковлева Н.И.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Исследованы фотоэлектрические характеристики смотрящего матричного фотоприемного устройства (МФПУ) формата 256x256 элементов на основе эпитаксиальных слоев (ЭС) полупроводникового соединения кадмий-ртуть-теллур (КРТ), выращенных методами молекулярно-лучевой (МЛЭ) эпитаксии. Шаг фоточувствительных элементов в обоих направлениях составил 30 мкм, размер р-п- переходов - 25x25 мкм. Изготовлены матричные фотоприемники по созданной в ФГУП «НПО «Орион» технологии, включающей: формирование р-п переходов в эпитаксиальных слоях р-типа проводимости методами ионной обработки и гибридизацию индиевыми столбчатыми микроконтактами матрицы фотодиодов с кремниевой большой интегральной схемой (БИС) считывания.

Кристалл кремниевой БИС, входящий в состав МФПУ, содержит матрицу МОП-транзисторных ключей, управляющий и считывающий регистры сдвига, секцию накопления и считывания. Сигналы мультиплицируются в два информационных выхода.

Матрица фотодиодов и БИС гибридизированы при помощи индиевых столбиков размером 15x15 мкм и суммарной высотой 12÷15 мкм таким образом, что каждый фотодиод подсоединен к входу соответствующей ячейки кремниевой схемы. Фоточувствительный узел размещен на охлаждаемой поверхности пальца микрокриогенной системы (МКС), работающей по циклу Стирлинга. Рабочая температура составляет 80 К при энергопотреблении МКС менее 10 Вт при НКУ.

Исследованы характеристики МФПУ диапазона 8-12 мкм формата 256x256 элементов. Среднее значение интегральной пороговой облученности $E_{пор}$ в рабочем спектральном диапазоне не превышает $2 \cdot 10^{-6}$ Вт/см². Фотоэлектрическая взаимная связь между соседними элементами МФПУ не превышает 5%.

Реализована работа МФПУ с частотой кадров 50 Гц и получение ИК-изображений с двухточечной коррекцией фона. Эквивалентная шуму разность температур при относительном отверстии объектива 1:1 составляет менее 30 мК.

У02 Матричное ФПУ формата 256x256 на основе InSb с высоким быстродействием и широкими функциональными возможностями

¹Бородин Д.В., Дирочка А.И., Касаткин И.Л., Лопухин А.А., ¹Осипов Ю.В., Чишко В.Ф.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹РТК «Импекс», Москва, Россия

Гибридный вариант создания матричных фотоприемных устройств на область спектра 3÷5 мкм на основе антимонида индия требует разработки таких принципиально новых технологических операций как изготовление матричного фотоприемника с тонкой базовой областью, индиевых микростолбиков для электрической и механической стыковки матрицы и мультиплексора, разработка мультиплексора с покадровым накоплением сигнала с широкими функциональными возможностями.

Для максимальной компенсации влияния различия в коэффициентах термического расширения матричного фотоприемника (МФП) и кремниевого мультиплексора нами разработаны варианты изготовления МФП с тонкой базовой областью, как с несущей кремниевой подложкой, так и без нее. Проведены измерения величины темновых токов МФП различных вариантов и установлены механизмы их генерации.

Разработана технология изготовления индиевых микростолбиков с использованием подслоев Cr-Au и Cr-Au-Ni. Установлено, что применение подслоя, содержащего Ni, не приводит к деградации характеристик фотодиодов МФП при прогреве при $t=70^{\circ}\text{C}$ в течение 150 часов.

Изготовленные матричные фотоприемные устройства формата 256x256 с покадровым накоплением сигнала охлаждались ГKM типа Сплит-Стирлинг или интегрированный Стирлинг с холодопроизводительностью не более 1 Вт, со временем выхода на режим не более 7 минут. Используемый мультиплексор обеспечивал как последовательное считывание сигнала, так и режим «мгновенной фотографии». Применение охлаждаемой диафрагмы с апертурным углом $2\theta\approx 60^{\circ}$ обеспечивало время накопления порядка 10^{-3} с, при этом минимально обнаруживаемая мощность не превышала $5\cdot 10^{-13}$ Вт/элемент.

У03 Фотоприемное устройство на основе матрицы МДП-фотодиодов на InAs для регистрации импульсных оптических сигналов

Ли И.И., Базовкин В.М., Валишева Н.А., Гузев А.А., Ковчавцев А.П.,
Курышев Г.Л., Половинкин В.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Представлена конструкция и параметры гибридной микросхемы ИК фотоприемного устройства (ФПУ) формата 8x8 элементов предназначенной для определения координаты и времени прихода импульсных оптических сигналов. ФПУ содержит матрицу 8x8 InAs МДП-конденсаторов с шагом 50 мкм по обеим координатам и кремниевый мультиплексор, соединенные между собой индиевыми микроотборками высотой 5-7 мкм по технологии flip-chip.

Кремниевый кристалл содержит 8x8 ячеек считывания с шагом 50 мкм. Каждая ячейка содержит усилитель и фильтр высокой частоты, непосредственно через буферные МДП-транзисторы подсоединена к выходным строчным и столбцовым шинам считывания. ИК ФПУ обеспечивает регистрацию координаты и времени прихода слабых импульсных оптических информационных сигналов при уровнях фонового излучения сцены, приборного фона на 2-3 порядка превышающих уровень информационных сигналов. Оригинальным решением задачи высокочастотной фильтрации является использование подзатворной емкости МДП-фотодиодов в качестве элемента фильтра высоких частот.

ИК-излучение проходит сквозь сильнолегированную подложку n^+ -InAs за счет сдвига края фундаментального поглощения InAs (эффект Мосса-Бурштейна) с 3,05 мкм (эпитаксиальный слой n-InAs) до 2,5 мкм (n^+ -InAs) и поглощается в тонком эпитаксиальном слое InAs, выращенном методом газотранспортной эпитаксии на подложках n^+ -InAs. Таким образом, подложка фотоприемной матрицы является узкополосным фильтром и определяет спектральный диапазон ФПУ 2.5-3.05 мкм.

Результаты экспериментального обследования ИК ФПУ показывают, что данное ФПУ обеспечивает определение координаты и времени прихода оптических сигналов с энергией не более $3 \cdot 10^{-16}$ Дж/Эл и длительностью 200-500 нс с точностью не хуже 100 нс.

У04 Новое поколение охлаждаемых многоэлементных фотоприемных устройств на основе фоточувствительных структур халькогенидов свинца

Аракелов Г.А., Бочков В.Д., Дрожников Б.Н., Храпунов М.Л., Кузнецов П.А.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Сообщается о разработке нового поколения 256-канальных фотоприемных устройств для использования в оптико-электронной аппаратуре различного применения, работающей в областях спектра ИК-излучения 1-3 мкм и 3-5 мкм. Основные применения ФПУ: переносные тепловизионные приборы, спектрометры, охранные устройства, и т.д. Выпускается в двух модификациях в зависимости от материала фоточувствительных элементов PbS или PbSe. Основное отличие от ранее разработанных ФПУ связано с разработкой и применением двух, встроенных в конструкцию ФПУ, 128-канальных микросхем мультиплексоров, обеспечивающих обработку и считывание на два выхода фотоэлектрических сигналов фотоприемника.

Высокие параметры D и S_v достигнуты в вакуумируемой конструкции с четырехкаскадным термоэлектрическим охладителем (ТЭО) с улучшенными характеристиками, позволяющими получить температуру ФЧЭ 200К при температуре окружающей среды 20°C.

Приведены основные фотоэлектрические параметры и характеристики ФПУ, описание конструкции и схемотехники.

У05 Одно - и двухспектральные матричные фотоприемники на основе структур с квантовыми ямами

Казаков А.А., Куликов В.Б., Бородин Д.В., Осипов Ю.В., Котов В.П.,
Курнявко Ю.В., Мармалюк А.А

*ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия
117342, Москва, ул. Введенского, д.3. Тел. : 333-03- 67, факс: 333-00-03,
e-mail: mail@polyus/msk.ru*

В докладе представлены результаты разработки матричных фотоприемников (МФП) формата 256x256 элементов на основе InGaAs/AlGaAs структур с квантовыми ямами (СКЯ). Разработанные фотоприемники обеспечивали фоточувствительность в спектральных диапазонах 3-5 мкм и 8-12 мкм, как по отдельности, так и одновременно, т.е. были созданы три типа фотоприемников – два односпектральных и один двухспектральный. Двухспектральный фотоприемник имел чересстрочную конструкцию. Считывание сигналов с фотоприемной секции осуществлялось с помощью кремниевого КМОП мультиплексора, соединенного с ней посредством индиевых столбиков.

Исследовались спектральные, светосигнальные и шумовые характеристики МФП, на основе которых рассчитывалась приведенная обнаружительная способность. В диапазоне 8-12 мкм она превышала $3 \times 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ см Гц}^{1/2}$, в диапазоне 3-5 мкм достигала $1 \times 10^{11} \text{ Вт}^{-1} \text{ см Гц}^{1/2}$. Исследовалась возможность работы МФП в составе фотоприемного модуля, как заливного типа, так и в сочетании с газовой криогенной машиной замкнутого типа. С помощью разработанных МФП были получены тепловые изображения удовлетворительного качества.

У06 Оценка эффективности использования одно - и двухспектральных матричных фотоприемников на основе структур с квантовыми ямами

Солодков А.А., ¹Куликов В.Б.

ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ», Мытищи, Россия

¹ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия

117342, Москва, ул. Введенского, д.3.

Тел.: 333-03- 67, факс: 333-00-03, e-mail: mail@polyus/msk.ru

Матричные фотоприемники (МФП) на основе структур с квантовыми ямами (СКЯ) представляют динамично развивающееся современное направление создания изделий фотоэлектроники. Ряд положительных качеств данных МФП (повышенная стойкость к воздействию ионизирующих и лазерных излучений, простота реализации чувствительности в различных спектральных диапазонах, ориентация на достаточно хорошо отработанную GaAs технологию и др.) обеспечивают им хорошие конкурентные условия среди других МФП. Привлекательна также возможность создания на базе СКЯ двухспектральных МФП на отечественной технологической базе.

Для выбора оптимальных направлений развития МФП на основе СКЯ требуется всесторонняя оценка эффективности их применения в составе приборных комплексов. В качестве показателя эффективности целесообразно использовать такой универсальный критерий, как дальность распознавания объекта наблюдения. Методика определения этого критерия основана на использовании спектральных и пространственно- частотных характеристик всех звеньев информационного канала «объект наблюдения – атмосфера – прибор - наблюдатель». Для описания непосредственно МФП на основе СКЯ использованы спектральные характеристики чувствительности реальных приемников, изготовленных на производственной базе ФГУП НИИ «Полюс».

Значительный интерес представляют результаты расчетов, полученные применительно к МФП СКЯ, работающим при температуре 78К, а также обладающим чувствительностью в 2-х спектральных диапазонах.

**У07 Сравнительный анализ фотоэлектрических параметров
многоэлементных фоторезисторов на основе объемных монокристаллов
и эпитаксиальных структур $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$**

¹Другова А.А., Комов А.А., Курбатов А.В., Никитин М.С.,

¹Холоднов В.А., Чеканова Г.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

¹*Институт радиотехники и электроники РАН, Москва*

Проведен сравнительный анализ расчетных и измеренных значений спектральной плотности шума, вольтовой чувствительности и обнаружительной способности многоэлементных фоторезисторов на основе объемных монокристаллов и эпитаксиальных структур $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$. Показано, что при идентичной конструкции пикселей и одинаковых условиях измерения, фоторезисторы на основе гетероэпитаксиальных структур $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии, демонстрируют более высокий уровень вольтовой чувствительности и пониженную плотность избыточного шума типа “1/f”. Обнаруженные особенности могут быть объяснены оптимальной конфигурацией фоточувствительной структуры эпитаксиального фоторезистора, в котором однородный слой поглощения требуемого состава “х”, блокируется тонкими варизонными слоями, выращиваемыми в едином цикле.

У08 Возможность обнаружения и подавления оптико-электронных средств

¹Попов Г.Н., ¹Голубев П.Г., ²Питик С.Д., ²Мордвин Н.Н.
¹ФГУП «ЦКБ «Точприбор», Новосибирск, Россия
²ГРАУ, Москва, Россия

По назначению системы подавления оптико-электронных средств можно подразделить на разведывательные системы, предназначенные только для обнаружения оптико-электронных средств с возможностью передачи данных на системы огневого подавления, и на системы обнаружения и непосредственного подавления оптико-электронных средств. Последние, в свою очередь, по принципу подавления оптико-электронных средств делятся на средства подавления оптико-электронных средств на базе стрелкового оружия и на средства подавления оптико-электронных средств на базе силовых лазеров.

Для оборудования подвижного разведывательного пункта была разработана система обнаружения оптико-электронных средств на основе активно-импульсного прибора ночного видения 1ПН61. Заканчивается разработка модификации этой системы в рамках ОКР «Аргус-АТ». Возможностью обнаружения оптико-электронных средств обладает дневно-ночной активно-импульсный командирский прибор ТКН-АИ.

Особых успехов ФГУП «ЦКБ «Точприбор» добилось в области создания систем обнаружения и подавления оптико-электронных средств, с помощью стрелкового оружия, получивших общее название антиснайпер. Данные системы являются прицелами и устанавливаются на стрелковое оружие.

Внешний вид специального прицела 1ПН119 изображен на рис.1.



Рис.1: Специальный дневно-ночной лазерный локационный прицел 1ПН119

Способ обнаружения оптико-электронных средств основан на принципе световозвращения. Прицелы на базе ЭОП используют лазерную подсветку для обнаружения блика от оптических приборов при сканировании контролируемого пространства.

После обнаружения блика от оптико-электронного средства производится наведение оружия на блик по сетке прицела и огневое поражение оптико-электронного средства. Со специальным прицелом средняя вероятность поражения одиночной цели, оснащенной оптико-электронным средством, составляет более 98%.

Еще один способ подавления оптико-электронных средств основан на воздействии мощного лазерного излучения на элементы оптико-электронных средств: сетку, фотокатод, ПЗС-матрицу и т.д. Под воздействием лазерного излучения чувствительные элементы оптико-электронных средств разрушаются.

В восьмидесятых годах прошлого века ФГУП КБТМ им. А.Э. Нудельмана и ФГУП «ЦКБ» Точприбор» была разработана система локации, поражения оптико-электронных средств и постановки оптических помех 1К72, которая производилась серийно на ФГУП «ПО НПЗ» с 1983 по 1991 г.

В настоящее время, ведется модернизация визирных каналов изделия 1К72. Комплекс содержит ночной и дневной визирные каналы, систему пеленга и боевой

лазерный канал поражения оптико-электронных средств. Пеленг основан на принципе световозвращения. Производится сканирование пространства лазерным излучением с длиной волны 0,88 мкм, обратно-отраженное от оптико-электронных средств излучение регистрируется фотоприемным устройством и в поле зрения оператора в дневном или ночном визире загораются отметки индицирующие факт обнаружения и направление на оптико-электронное средство. При наведении комплекса на цель производится поражение оптико-электронного средства лазерным излучением.

Перспективным направлением развития систем подавления оптико-электронных средств является построение систем работающих в спектральных диапазонах тепловизионных приборов 3÷5 и 8÷14 мкм.

У09 Компьютерное моделирование ЭОП и фотоэлектронных пушек для экспериментов по электронной дифракции с временным разрешением (TRED)

Монастырский М.А., Андреев С.В., ¹Гринфельд Д.Э., Дегтярева В.П.,
Тарасов В.А., Щелев М.А.

Институт общей физики РАН, Москва, Россия

¹*ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

Первая часть работы посвящена задаче компьютерного моделирования статических ЭОП и временноанализирующих ЭОП с динамической разверткой. На примере типичных задач рассмотрены наиболее значимые аспекты численного моделирования и его особенности, такие как нахождение кривизны поверхности изображения, пространственного и временного разрешения по рабочей области и абберационных коэффициентов. Представлена новая версия программного пакета ELIM/DYNAMICS.

Во второй части работы обсуждаются теоретические основы, и результаты компьютерного моделирования принципиально новой электронно-оптической системы с нестационарным электрическим полем, позволяющим значительно сжимать электронные пучки во времени. Метод основан на том, что в зависящем от времени поле осуществима идеальная (первого порядка) временная фокусировка пучка фотоэлектронов, которая принципиально нереализуема в статических полях. Эффект фокусировки делает возможным прорыв во временном разрешении от уровня 200 фемтосекунд, достигнутого в современных фотоэлектронных приборах, до единиц фемтосекунд и даже аттосекундного диапазона.

Представлены некоторые экспериментальные результаты сжатия электронных пучков с применением фотоэлектронной пушки, недавно разработанной в отделе фотоэлектроники ИОФРАН для экспериментов по электронной дифракции с временным разрешением (TRED).

У10 Интегрированные холодильные устройства фирмы Thales Cryogenics

Мартэн Жан-Ив, Кокиль Жан-Марк

Thales Cryogenics, Франция

Фирма “Thales Cryogenics” предлагает ряд интегрированных сборок холодильных устройств для фотоприемников присоединительным размером $\frac{1}{4}$ ”, который наиболее часто используется производителями инфракрасных детекторов.

Из этого ряда холодильники RM2, RM5 и UP7097/LS5-7i имеют наиболее широкое распространение в различных областях применения.

В настоящее время “Thales Cryogenics” добавляет к этому ряду два новых типа. Холодильник RM4 является ротационным и отвечает растущим потребностям увеличения мощности, прочности и надежности для инфракрасных бортовых систем. RM4 был сконструирован, чтобы соответствовать условиям работы в военно-транспортных машинах, характеризуемым высокими механическими нагрузками. Холодильник LSF9597, основанный на втором поколении технологии Thales (гибкой опоры (подшипника) и имеет очень большой срок службы в сочетании с высокой надежностью. В докладе будут представлены характеристики различных холодильников ряда $\frac{1}{4}$ ” и даны характеристики и параметры новых моделей RM4 и LS9597.

У11 Перспективы создания бесшумных криогенно охлаждаемых портативных тепловизоров

Веприк А., Виленчик Г., Бройде Р., Пундак Н.
Рикор, Эйн Харод Ихуд, 18960, Израиль

Современная тактика проведения военных и антитеррористических операций настоятельно требует создания нового поколения портативных криогенно охлаждаемых приборов ночного видения. В большинстве случаев, для захлаживания инфракрасных приемников используются микрокриогенные интегральные охладители Стирлинга, которые обычно устанавливаются непосредственно на тонкостенный и легкий корпус, служащий в данном случае оптической скамейкой. Известным недостатком такого подхода является возможность возбуждения работающим охладителем структурных резонансов в элементах механической конструкции и, как следствие, интенсивное излучение звука. Такой «шумящий» тепловизор может быть обнаружен с относительно больших расстояний при помощи специальных акустических средств, включающих высокочувствительные направленные микрофоны, или с малых расстояний в случае непосредственной близости к противнику. Таким образом, акустическая бесшумность в сочетании с высоким качеством изображения, компактностью, малой потребляемой мощностью и долговечностью становится одним из основных показателей качества современных портативных тепловизионных приборов. Достижение желаемой бесшумности при жестких ограничениях налагаемых на весогабаритные показатели и цену изделия оказывается непростой задачей. Например, лучшие экземпляры современных портативных тепловизионных приборов вполне могут быть обнаружены невооруженным ухом с расстояния 50 метров. Авторы докладывают об успешной попытке изготовления криогенно охлаждаемого тепловизора характеризуемого порогом слышимости 10 метров в соответствии с требованиями стандарта MIL-STD-1774D (Level II).

У12 Результаты разработки ряда модульных МКС Сплит-Стирлинг для криостатирования ФПУ 1 и 2 поколений

Липин М.В., Громов А.В.

ООО НТК «Криогенная техника», Омск, Россия

Представлены результаты разработки ряда модульных микрокриогенных систем (МКС) Сплит-Стирлинг, предназначенных для комплектации тепловизионных приборов наблюдения и прицеливания всех родов войск и коммерческого применения.

Описано несколько конструктивных вариантов МКС. Разработанные МКС позволяют криостатировать фоточувствительные элементы (ФЧЭ) фотоприемных устройств (ФПУ) различного типа на температурном уровне $(75 \div 80)$ К при тепловой нагрузке на МКС от 0,3 до 2,0 Вт.

Приведены результаты исследований и испытаний МКС в различных условиях, в том числе статистические данные по изготовленным партиям опытных образцов.

Рассматриваются ближайшие перспективы совершенствования конструкции МКС и повышения их технических характеристик и характеристик надежности.

У13 Термоэлектрические пленочные приемники излучения микроваттного диапазона

Анатычук Л.И., Разиньков В.В.

Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

Приведены результаты анализа современного состояния и перспектив дальнейшего развития пленочных термоэлектрических приемников излучения.

Рассмотрены новые технологические методы получения пленок термоэлектрических материалов повышенной термоэффективности, перспективных для создания на их основе высокочувствительных приемников излучения.

Представлены варианты конструктивного исполнения пленочных термоэлектрических приемников излучения со значениями вольт-ваттной чувствительности 100-500 В/Вт и постоянной времени 10-60 мс, что превышает известные аналоги. Установлена возможность создания приемников с вольт-ваттной чувствительностью 1000 В/Вт.

Рассмотрены особенности применения термоэлектрических приемников излучения в основе высокочувствительных ИК-систем.

У14 Термоэлектрические холодильники для систем астроориентации искусственных спутников Земли

Анатычук Л.И., Разиньков В.В., Малышко В.В.

Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

Термоэлектрические охладители (ТЭО) широко используются для температурной стабилизации и охлаждения приемников излучения как наземного, так и космического назначения. Особенно эффективно сочетание детекторов малых размеров с термоэлектрическими микрохолодильниками. Однако, встречаются случаи, когда объектом охлаждения являются детекторы больших размеров, работающие в условиях космического вакуума, например ПЗС матрицы для систем астроориентации искусственных спутников. К ТЭО для таких объектов предъявляются весьма жесткие и противоречивые требования: равномерность охлаждения, функционирование в условиях ограниченного теплоотвода, ограничения по потребляемой электрической мощности, высокая ударная стойкость в сочетании с длительным ресурсом работы и др.

В работе приводятся результаты исследований и разработки ТЭО для таких применений. Методами компьютерного проектирования обеспечена оптимизация конструкции ТЭО. Достигнуто охлаждение до $-10 \div -30^{\circ}\text{C}$ при температурах теплоотводящих элементов $+60 \div +80^{\circ}\text{C}$ и потребляемой электрической мощности 1,5-4,5 Вт. Особенно сложные проблемы возникают при обеспечении: ударной стойкости ТЭО до 2000g, стойкости к многократным циклическим воздействиям, ресурса работы до 20 лет. Теоретически и экспериментально установлена связь между механической стойкостью и геометрическими размерами ветвей и ансамбля из них. Разработаны специальные методы получения термоэлектрического материала, обеспечивающие его повышенную механическую прочность в сочетании с высокими значениями термоэлектрической добротности. Исследованы механизмы деградации в условиях имитации космического вакуума, которые учтены при решении задач ресурсной стойкости модулей. Особое внимание уделено разработке технологии толстых антидиффузионных слоев (30-50мк), которые характеризуются низким контактным электрическим сопротивлением в сочетании с высокими значениями адгезии к поверхности термоэлектрического материала. Совокупность приведенного позволила решить задачу создания высокоэффективного и надежного ТЭО космического назначения.

У15 Переходные контакты ветвей ТЭМ повышенной надежности

¹Ащеулов А.А., ²Добровольский Ю.Г., ³Романюк И.С., ⁴Фотий В.Д.

¹Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

²НВФ "Тензор", Черновцы, Украина

³ОАО "Кварц", Черновцы, Украина

⁴КТБ «Фотон», Черновцы, Украина

Приведены результаты комплексных исследований по усовершенствованию технологии низкоомных переходных слоев ветвей термоэлектрических модулей Пельтье (ТЕМ), характеризующихся повышенными адгезионными и надежностными свойствами [1-3]. Эта технология отличается наличием термического отжига пластин с химически осажденными слоями никеля в условиях воздействия постоянного магнитного ($B = 0,27$ Тл) и импульсного электрического ($E = 7,2$ В/см, $f = 100$ Гц) полей при температуре $T = 575$ К в атмосфере водорода.

Особенностями данной технологии кроме воздействия магнитного и электрического полей, которое осуществляется посредством цилиндрического гиротропного конденсатора по методу [4], являются малые скорости роста и снижения температур на протяжении всего процесса отжига. Цилиндрический гиротропный конденсатор состоит из кольца на основе ферродиеlectricкого материала с внешним $R1$ и внутренним $R2$ радиусами и толщиной D . Магнитное поле этого кольца ориентировано так, что южный и северный полюса расположены на противоположных гранях. На внешней и внутренней сторонах этого кольца размещены металлические цилиндрические обкладки, которые представляют собой конденсатор. Для повышения плотности электрического поля, в некоторых случаях дополнительно применяется коническая металлическая поверхность.

Проведение такого отжига ведет к значительному снижению как степени дефектности объема пластины в приповерхностной области, так и величины внутренних упругих напряжений, а также повышает количество валентных связей между никелем и матрицей кристалла. Такой технологический прием позволил создать переходные антидиффузионные слои никеля на ветвях p - типа проводимости толщиной 20 – 25 мкм и на ветвях n - типа проводимости толщиной 10 - 12 мкм. Величина сопротивления этих слоев составляет $5 \cdot 10^{-6}$ Ом·см⁻² и $3 \cdot 10^{-6}$ Ом·см⁻² соответственно, при $T = 300$ К. Адгезионная прочность полученных слоев при этом составляет (1,35 – 1,45) кГс/мм².

Надежность полученных антидиффузионных слоев исследовалась в сравнении со слоями, нанесенными без полевого влияния, в составе ТЕМ: 1000 часов в циклическом режиме (4000 циклов) при температурах 213, 293 и 333 К. После наработки адгезионная прочность ветвей, изготовленных по усовершенствованной технологии в полтора - два выше, чем у ветвей, изготовленных по ранее применявшейся технологии.

Литература

1. Ащеулов А.А., Добровольский Ю.Г., Романюк И.С. Особенности технологии термоэлектрических модулей Пельтье повышенной надежности // ТКЭА.-2004.-№4.-с.57-60.

2. Ащеулов А.А., Романюк И.С., Добровольский Ю.Г. и др. Охладители Пельтье повышенной надежности для фотоприемников // ПФ.-2003.-Вып.2-с.114-117.

3. Ащеулов А.А., Романюк И.С., Добровольский Ю.Г. та ін. Термоелектричні модулі Пельтьє підвищеної надійності // ФХТТ. -2002. - Т.3, № 3. –С. 508-514.

4. Деклараційний патент України на винахід № 36197 А Спосіб виготовлення фотодіодів. Ю.Г. Добровольській, А.А. Ащеулов, В.М. Годованюк. 2001. Бюл.№ 3.

У16 Способ определения температуры фоточувствительных элементов, охлаждаемых ТЭО

Аракелов Г.А., ¹Громов Г.Г.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹ЗАО РМТ, Москва, Россия

В докладе сообщается о разработке нового способа измерения температуры охлаждаемого термоэлектрическим охладителем объекта (фоточувствительного элемента), который заключается в следующем.

В результате исследований установлено, что при стабилизированном значении тока или напряжении на ТЭО имеется зависимость электрического сопротивления ТЭО от температуры охлаждаемого объекта. При этом, имеется возможность применить ТЭО как по своему прямому назначению, так и одновременно как измеритель температуры охлаждения, исключив при этом датчик температуры.

У17 Сравнительный анализ схем считывания формата 4x288

¹Рева В.П., ²Сизов Ф.Ф., ³Васильев В.В.

¹Институт микроприборов НАН, Киев, Украина,

²Институт физики полупроводников НАН, Киев, Украина,

³Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

До настоящего времени при построении инфракрасного изображения широко используется формат фотоприемников 4x288. При использовании чересстрочной развертки он позволяет реализовать полноэкранный формат изображения, а наличие четырех параллельных столбцов - реализовать режим TDI, уменьшив NEDT. В докладе приводится сравнительный анализ параметров схем считывания формата 4x288 различной организации, изготовленных по разным технологиям. Все схемы считывания имели входной каскад прямой инжекции с элементами, позволяющими тестирование без подключения фотодиодов, TDI регистры с тремя элементами задержки между соседними входами. С использованием 2.5 мкм ПЗС технологии были изготовлены 2-х и 4- фазные схемы считывания с различными типами каналов – поверхностным, скрытым и «semiburied», содержащие 10 битовые регистры TDI в каждом канале, 18 канальное мультиплексирование на 16 выходов. Приведены основные параметры – charge handling capacity, передаточные характеристики, нелинейность выходной характеристики, разброс по напряжению смещения подаваемого на фотодиоды. Использование ПЗС элементной базы для мультиплексирования приводит к увеличению взаимосвязи между каналами из-за наличия довольно значительной неэффективности переноса на криогенных температурах. Приводятся зависимости неэффективности переноса от температуры и методы снижения неэффективности.

С использованием 2.5 мкм ПЗС технологии и 2.0 мкм КМОП технологии изготавливались схемы считывания, содержащие цифровой интерфейс для деселекции дефектных каналов, схемы предварительного усиления, 36 канальное мультиплексирование с помощью ПЗС регистров и 2-х тактное мультиплексирование аналоговыми ключами на 4 выходных усилителя. Использовалась КМОП технология с одним карманом, двумя уровнями поликремния, двумя уровнями металла, транзисторами с «натуральным» порогом, 250А диэлектриком. Для повышения линейности передаточной характеристики и уменьшения уровня шумов на выходе ПЗС использованы специальные схемы преобразования заряд-напряжение на основе операционных усилителей. Приводятся схемы и их характеристики. Применение данной элементной базы позволило получить параметры схемы считывания, изготовленной по 2.0 мкм технологии с параметрами схем считывания, изготавливаемых по 0.8-1.0 мкм технологиям. Приводятся основные параметры схемы в сравнении с аналогичными схемами. Обсуждаются основные технологические проблемы изготовления данной схемы.

По 1.2 мкм КМОП технологии с двумя уровнями поликремния и двумя уровнями металла была разработана и находится в изготовлении КМОП схема считывания формата 288x4, имеющая дополнительные возможности: двунаправленное сканирование, программируемый коэффициент усиления, режим, отключающий TDI регистры и обеспечивающий непосредственный доступ к каждой ячейке.

Приводятся основные параметры данной схемы. Сравнительный анализ показывает, что схемы различных типов отличаются в первую очередь количеством выводов, различным внешним сервисом, но имеют близкие основные параметры.

У18 Мультиплексоры с повышенным динамическим диапазоном для ИК-фотоприёмников третьего поколения

Белоконев В.М., Володин Е.Б., Сусов Е.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Динамический диапазон многоэлементных ИК фотоприёмников (ФП) 1-го и 2-го поколений не превышает 60-80 дБ. Имеющиеся на практике вариации засветок и технологические разбросы параметров компонентов требуют значительного увеличения динамического диапазона вверх. Совершенствование методов и средств цифровой обработки изображений с целью обнаружения и распознавания объектов на фоне шумов, в т.ч. движущихся объектов, в нестационарных условиях наблюдения, требуют от ФП расширения динамического диапазона вниз, ниже уровня шума.

Нами разработана и опробована в тестовых и экспериментальных образцах схемотехника мультиплексоров с динамическим диапазоном в 100 – 120 дБ. [1]. Основой этой схемотехники является введение в ячейки и в столбцовую электронику элементов дельта-сигма модуляторов с одновременным частичным преобразованием сигналов ФП в цифровой код. Для матриц или линеек с количеством пикселей в строке 144-320 оптимальным количеством разрядов аналогово-цифрового преобразования внутри кристалла является 8. При длине строки 640-1000 пикселей оптимальным будет 9-10 разрядов. В ячейках на интегрирующих конденсаторах и в аналоговых трактах присутствует только разность между сигналом и оцифрованным его значением. Эти разностные сигналы усиливаются в кристалле до нормальной для мультиплексоров величины с соответствием в 2-3 В значению младшего разряда оцифрованной части. Таким образом, преодолевается барьер верхнего уровня динамического диапазона, возникающий из-за насыщения усилителя или переполнения интегрирующего конденсатора. Напряжение насыщения или ёмкость накопительного конденсатора эквивалентно увеличивается в 2^n раз (n-число разрядов аналогово-цифрового преобразования в кристалле), т.е. в 256 раз в нашем случае. Разностные аналоговые сигналы мультиплексируются и выводятся, как в обычных мультиплексорах, для внешней оцифровки. Внешний АЦП с 10-14 разрядами и внутренний с 8-10 разрядами, функционируя с одинаковой частотой считывания, дают динамический диапазон цифровых сигналов в 18-24 разряда. (Из них до 6 разрядов может занять шум, что необходимо для последующей цифровой обработки зашумлённых сигналов).

В отличие от известных схемотехнических решений по данному направлению [2], реализация которых предполагает использование достаточно экзотичной технологии VISA (VISA: Vertical-integrated sensor array. ФП по этой технологии набирается в виде пакета утончённых БИС, соединённых между собой сквозными металлизированными отверстиями) [3], наши разработки реализуются по стандартной технологии. Так фотодиодная матрица 320x256 без схем расширения динамического диапазона, выполненная по КМОП технологии с топологической нормой 0.6 мкм, имеет размеры кристалла 11x11 мм, а аналогичная матрица со схемами расширения динамического диапазона и внутренним 8-ми разрядным АЦП, выполненная по той же технологии, будет иметь размеры 13x15 мм. Мультиплексоры для фоторезистивных линеек 144x2x2 и 96x2x2 с аналогичной схемной архитектурой были спроектированы для изготовления по КМОП технологии с топологической нормой 1.2 мкм и имеют размеры 9x18 мм, а с уплотнением по частоте цифровой части – 9x14 мм.

В длинноволновых фотодиодных матрицах из КРТ этот метод позволит увеличить время накопления до кадрового, а в болометрических – значительно увеличить усиление сигнала, несмотря на большой геометрический шум. Единственной функцией ФП становится мультиплексирование и оцифровка сигналов тепловизионного изображения в

очень большом динамическом диапазоне, включая шумы, экстремальные засветки и технологические разбросы. Это даёт возможность перенести все операции по очистке изображений от геометрического и темпорального шумов (включая строчную или покадровую ВЗН), а также от температурных неоднородностей, в цифровую часть ФПУ, которая при современной технологии выполняется в виде второго кристалла двухкристального ФПУ.

1. Гусаров А.В., Дшхунян В.Л., Володин Е.Б., Ларцев И.Ю., Машевич П.Р., Смолин О.В., Сусов Е.В. Устройство формирования сигналов резистивных фотосенсоров.- Решение ФИПС о выдаче патента по заявке № 2004107770\28(008290) 16.03.2004.

2. Sam Kavusi, Hossein Kakavand, Abbas El Gamal. Quantitative Study of High Dynamic Range Sigma Delta-based Focal Plane Array Architectures.- Proc. SPIE 5406, April 2004, pp. 341-349.

3. S. Horn, P. Norton, K. Carson, R. Eden, R. Clement. Vertically-integrated sensor arrays-VISA.- Proc. SPIE 5406, April 2004, pp. 332-340.

У19 КМОП микросхемы первичного преобразования для многэлементных гибридных фотоприемных устройств

Аветисян Г.Х., Бородин Д.В., Белоконев В.М., Осипов Ю.В., Самотаев Н.А.

ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия

ООО «РТК Имтекс», Москва, Россия

Разработано семейство КМОП микросхем считывания сигнала с линеек, субматриц и матриц фоточувствительных элементов на основе InSb, PbS, PbSe, AlGaAs/GaAs, CdHgTe и др. Основные параметры микросхем представлены в таблице.

| Номер МС | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 проект |
|--|------------|----------|---------|---------|-----------------------|-----------------|---------|-------------|
| Тип входного транзистора | p | n | p | p | p | p | n | p |
| Топологические нормы, мкм | 3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 0,8 | 1,2 | 1,2 | 0,8 |
| Количество каналов, ячеек | 128 | 128 | 2x64 | 128x128 | 256x256 | 576x16 | 1x128 | 640x512 |
| Период каналов, ячеек, мкм | 80 | 80 | 60 | 50x50 | 35x35 | 20x280 | 80 | 24x24 |
| Зарядовая емкость, Ме- | 100 | 200 - 20 | 100 - 2 | 20 | 20 | 1 | 200 -20 | >5 |
| Количество диф. выходов | 1 | 1 | 2 или 4 | 1 | 4 или 8 | 4 | 1 | 4 |
| Время интегрирования, % от цикла измерения | от 1 до 97 | 95 | 95 | 99,9 | 0,4%; 99,9%; snapshot | 99,9%; snapshot | 95 | Snap shot |
| Макс. тактовая частота, МГц | 2 | 5 | 5 | 7 | >10 | >4 | 5 | >10 |
| Макс. частота кадра, кГц | 15 | 40 | 75 | 0.5 | >1.3 | 2 | 40 | >0,12 |
| Рассеиваемая мощность, мВт | 100 | 30 | 60 | 35 | <80 | 10 | 30 | <100 |
| Сред.кв.шум, е- (S на 1,2кГц, мкВ Гц ^{-1/2}) | | (0,8) | 5000 | 1000 | 800 | 150 | (0,3) | <1000 |

Особенностью МС №2 является возможность индивидуально в каждом канале, цифровым способом с 6-разрядной точностью (8 – для МС№7) автоматически задавать ток (темновой, фоновый), который вычитается из входного тока и только полученная разность интегрируется в течение цикла измерений.

Обсуждаются результаты применения данных МС в фотоприемных устройствах.

У20 Совмещённый видеопроцессор для тепловизионной камеры с визуальным каналом

Боженко И.Б., Клушин Ю.С., Кондратов О.П., Кондратов П.А., Ткаченко В.Ф.
Национальный университет “Львовская политехника”, Львов, Украина

При дистанционном мониторинге энергетических объектов широкое применение нашли многоспектральные анализаторы, работающие в инфракрасном и видимом диапазонах. Такой анализатор можно выполнить на двух камерах, детекторными элементами которых являются, например, пировидикон и ПЗС-матрица. Видеопроцессор в такой системе выполняет первичную обработку и сохранение изображений объекта в различных спектральных зонах, и передачу их в компьютер для более сложной обработки.

Здесь одна из основных проблем – выбор схемы синхронной привязки процессора к тепло- и телевизионной камерам, которые могут генерировать собственные сигналы синхронизации. Учитывая, что основную информацию о режиме работы объекта предоставляет инфракрасный детектор, предлагается схема жесткой синхронизации его канала – пировидиконной тепловизионной камеры. Для вспомогательного канала – телевизионной ПЗС-камеры – предлагается схема “цифровой привязки”, которая с погрешностью в полпикселя синхронизирует кадр видимого изображения объекта. С этой целью используются строчные и кадровые синхроимпульсы, которые выделяются из видеосигнала телекамеры.

Такое построение видеопроцессора с двумя независимыми каналами обеспечивает возможность:

- согласовать во времени формирование кадров теплового и видимого изображений;
- согласовать размеры обоих изображений во время их первичной обработки;
- синтезировать из полученных теплового и видимого изображений единого комплексного изображения, как в компьютере, так и в видеопроцессоре (при соответствующем изменении его конфигурации).

Такой видеопроцессор может быть выполнен на базе FPGA XC3000 XILINX или EPM9320 ALTERA.

Все режимы работы видеопроцессора задаются с внешней клавиатуры.

Программное обеспечение составляют управляющая программа работы, процедуры обмена видеопроцессора с ПК и процедуры записи информации во флеш-память видеопроцессора.

У21 Схема считывания с электронным управлением для матриц ИК-фотодиодов среднего диапазона

¹Рева В.П., ²Сизов Ф.Ф.

¹*Институт микронприборов НАН, Киев, Украина*

²*Институт физики полупроводников НАН им. В.Е. Лашкарёва, Киев, Украина*

Обсуждены проблемы проектирования схем считывания, спроектированы и изготовлены для матриц ИК фотодиодов среднего диапазона длин волн (3 – 5 мкм), предназначенных для считывания и обработки информации от матричных диодных фотоприемников на основе таких материалов как InSb, HgCdTe или с более коротковолновой границей фоточувствительности, например, фотодиодов на основе твердых растворов AlGaAs. Потенциальные функциональные возможности схем считывания (динамический диапазон, шаг между элементами (разрешение), наличие встроенного аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) и др.) рассмотрены с точки зрения применения современных проектных норм (0.25 – 1.2 мкм). Обсуждены некоторые характеристики спроектированной и изготовленной схемы считывания среднего формата для матриц фотодиодов 128x128 пикселей с использованием проектных норм 1.2 мкм. Управление схемой считывания производится через последовательный асинхронный порт цифровым кодом. Приводятся основные параметры и проанализировано влияние технологии на параметры изготовленных схем считывания.

У22 Способы и принципы построения алгоритмов ЦОС многоэлементного фотоприемного устройства ИК-диапазона на основе микросхемы программируемой логики

Кремис И.И., Однолько Ю.Ф.

*Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН,
Новосибирск, Россия*

Программируемая логическая интегральная микросхема высокого уровня интеграции позволяет создать систему, основные функциональные узлы которой выполнены на едином кристалле микросхемы. Использование данного принципа построения системы позволяет повысить ее надежность, снизить ее масса габаритные показатели и показатели энергопотребления. В этом случае, построение системы обработки сигналов на ПЛИС ограничивается необходимостью создания узлов ЦОС на элементах жесткой логики. В то же время, ПЛИС высокого уровня интеграции позволяет реализовать любой программный алгоритм, обычно выполняемый DSP.

В докладе рассматриваются способы и принципы построения алгоритмов ЦОС посредством жесткой логики, реализованные при разработке в Конструкторско-Технологическом Институте Прикладной Микроэлектроники СО РАН унифицированного электронного модуля (УЭМ). Разработанный электронный модуль является унифицированным, и использовался совместно с приемниками производства Sofradir 320x256 и ULIS 320x240. Все арифметические модули системы обработки сигналов были выполнены на основе ПЛИС Cyclone фирмы Altera с использованием программного обеспечения Quartus 4.0.

Приводятся результаты практического использования алгоритмов. Предложенные решения создания узлов цифровой обработки сигналов позволяют создавать системы на кристалле ПЛИС, используя доступное программное обеспечение Quartus 4.0.

У23 Результаты исследования образцов КМОП–мультиплексоров для многоэлементных фоторезисторов на основе PbS и PbSe

Заславский А.В., Кузнецов П.А., Климанов Е.А., Сагинов Л.Д., Хромов С.С., Щукин С.В.
ФГУП «НПО «Орион»», Москва, Россия

Приводятся результаты исследования опытных образцов двух вариантов кремниевых охлаждаемых КМОП – мультиплексоров формата 1x128, предназначенных для усиления и коммутации сигналов с многоэлементных фоторезисторов (ФР) на основе PbS и PbSe.

В ходе работы были разработаны электрические схемы, топологии кристаллов, и изготовлены опытные образцы двух вариантов МП (БИС считывания): для ФЭМ на основе PbS и PbSe. Обсуждаются схемотехнические особенности мультиплексоров и их параметры.

Полученные типовые величины параметров приведены в Таблице.

| № п/п | Наименование параметра, условное обозначение | Ед. измерения | Типовое значение по измерениям | |
|-------|---|---------------------------|--------------------------------|-----------|
| | | | Тип МП | |
| | | | PbS | PbSe |
| 1. | Коэффициент преобразования по току, K_{pi} | $\frac{B}{\mu A}$ | 33 | 55...80 |
| 2. | Нижняя граничная частота АЧХ канала, F_n | Гц | 25 | 4...7 |
| 3. | Верхняя граничная частота АЧХ канала, F_v | кГц | 0,45 | 2 |
| 4. | Нормированная ЭДС шума, $E_{ш.н.}$ | $\frac{\mu B}{\sqrt{Гц}}$ | 2,0 | 1,0 |
| 5. | Напряжение смещения на входе, $U_{см.}$ | В | 0,5 | 1,5 |
| 6. | Разброс напряжения смещения, $\Delta U_{см.}$ | мВ | ± 10 | ± 10 |
| 7. | Максимальное отклонение постоянной составляющей на выходе от среднего уровня («геометр. шум»), $\Delta U_{ост}$ | мВ | ± 200 | ± 200 |
| 8. | Максимальная амплитуда неискаженного переменного сигнала на выходе, U_{max} | В | 2,2 | 3,5 |
| 9. | Потребляемая мощность, $R_{пот.}$ | $\frac{\mu Bt}{канал}$ | 120 | 200 |
| 10. | Электрическая взаимосвязь между соседними каналами., $K_{св.}$ | % | 0,3 | 0,3 |

Примечания: 1. Режим измерения параметров для варианта PbS: $U_{п} = +9В$, $R_{г} = 1Мом$, $I_{вх.} = 0,5\mu A$, $T_{opr.} = 1300 мкС$, $F_0 = 70Гц$

2. Режим измерения параметров для варианта PbSe: $U_{п} = +12В$, $R_{г} = 3Мом$, $I_{вх.} = 0,5\mu A$, $T_{opr.} = 120 мкС$, $F_0 = 1200Гц$

У24 Бовина Л.А. К 70-летию со дня рождения

Стафеев В.И.

ФГУП «НПО «Орион»», Москва, Россия

Л.А. Бовина окончила Московский институт стали (в настоящее время МИСиС) по кафедре “коррозия металлов” и получила специальность инженер – металлург. В 1961 г. принята на работу на предприятие п/я 4064 (с 1966 г. НИИПФ, в настоящее время ФГУП «НПО «Орион»).

В лаборатории полупроводниковых материалов она разработала и внедрила на Подольском химико-металлургическом заводе технологию выращивания монокристаллов антимонида индия. Это позволило существенно ускорить разработку и организацию производства фотоприемников среднего ИК-диапазона. Комплекс работ по этим фотоприемникам и материалу для них отмечен Государственной премией СССР (без Л.А.Бовиной). На этом материале в ИРЭ АН СССР созданы приемники излучения субмиллиметрового диапазона. Работа отмечена премией общества А.С.Попова (с участием Л.А.Бовиной). Л.А. Бовиной в 1966 г. присуждена ученая степень кандидата технических наук.

Следующий этап жизни Л.А.Бовиной связан с разработкой сложнейшего полупроводникового материала – твердого раствора теллуридов кадмия – ртути. Уже в начале 1970-го года были выращены первые монокристаллы КРТ, на которых в НИИПФ были разработаны и поставлялись многим организациям страны первые фоторезисторы на спектральный диапазон 8 – 12 мкм.

Правительством в 1970 г. перед НИИПФ была поставлена сложнейшая задача – создание сверхбыстродействующих фотоприемников для гетеродинного приема излучения CO₂ – лазера на длине волны 10,6 мкм. Решение этой проблемы было возможно только с использованием фотодиодов. Разработка фотодиодов была поручена Л.А. Бовиной. На объемных монокристаллах КРТ создать сверхбыстродействующие фотодиоды не представлялось возможным. Необходимы были эпитаксиальные слои специальной структуры, технологию которых в кратчайшие сроки она и разработала. На этих слоях были созданы фотодиоды с быстродействием до 1 ГГц, регистрировавшие в гетеродинном режиме в единичной полосе частот всего несколько квантов. Созданные фотодиоды, в том числе многоэлементные, получили высокую оценку и широко использовались во многих организациях. За разработку и исследования КРТ и фотодиодов Л.А. Бовиной в 1977 г. присуждена ученая степень доктора физико-математических наук.

Л.А. Бовина внесла большой вклад в разработку технологии и организацию производства монокристаллов КРТ на заводе Чистых металлов в г. Светловодске (Украина) и в организацию филиала НИИПФ в г. Баку, созданного для разработки и выпуска фотоприемников на основе КРТ. Она оказала помощь ЦКБ завода “Сапфир” в разработке и организации производства фоторезисторов на КРТ, а позднее (1982 г.) внедрила в ЦКБ “планарную” технологию многоэлементных фоторезисторов.

Важнейшим заключительным этапом деятельности Л.А. Бовиной стала разработка многоэлементных матричных фотоприемников на основе КРТ, без которых немыслимо современное тепловидение. Воспитанный ею коллектив успешно продолжает эти работы. Разработанные МФПУ многорядного и “смотрящего” типа по формату и параметрам находятся на мировом уровне. Этот комплекс отмечен Государственной премией России.

Профессор Л.А. Бовина – технолог “от бога”. Ей присвоено почетное звание “Заслуженный технолог Российской Федерации”. Она член-корреспондент Академии технологических наук. Работы Л.А. Бовиной сыграли неоценимую роль в международном признании большого вклада ФГУП «НПО «Орион» в мировую микрофотоэлектронику.

У25 Гетероэпитаксиальные структуры РКТ ЖФЭ и многоэлементные фотоприемники на их основе

Денисов И.А.¹, Белогорохов А.И.¹, Смирнова Н.А.¹, Белов А.Г.¹,
Коновалов А.А.¹, Шленский А.А.¹, Шматов Н.И.¹, Прошкин Ю.Н.²,
Ларина Г.В.², Базарова Л.Н.²

¹ФГУП «ГИРЕДМЕТ», Москва, Россия

²ОАО Московский завод «САПФИР», Москва, Россия

В докладе представлены результаты совместной разработки ФГУП "Гиредмет" и ОАО МЗ "Сапфир", направленной на замену объемных кристаллов РКТ на эпитаксиальные гетероструктуры n-РКТ/КЦТ при производстве многоэлементных охлаждаемых фоторезисторов (ФР) со спектральной чувствительностью в области 8÷14 мкм.

В ФГУП "Гиредмет" разработана технология и освоено опытно-промышленное производство нелегированных и легированных индием эпитаксиальных слоев (ЭС) РКТ n-типа электропроводности методом ЖФЭ на подложках КЦТ. Характеристики ЭС удовлетворяют требованиям, предъявляемым к фоточувствительному материалу при промышленном производстве многоэлементных ФР.

С использованием полученных ЭС РКТ ЖФЭ ОАО МЗ "Сапфир" проводит разработку модульных фотоприемников (ФП) на основе двумерных охлаждаемых ФР. Изготовленные образцы ФП по ряду параметров превосходят ФП, выполненные на объемном РКТ.

Показана перспективность и экономическая эффективность использования ЭС РКТ ЖФЭ при промышленном производстве модульных ФР.

У26 Структурные и электрофизические свойства гетероэпитаксиальных пленок HgCdTe, выращенных методом МЛЭ на подложках Si(310)

Якушев М.В., Бабенко А.А., Варавин В.С., Васильев В.В., Миронова Л. В., Придачин Д.Н., Ремесник В.Г., Сабина И. В., Сидоров Ю.Г., Сусликов А.О.
Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Методом МЛЭ на подложках Si(310) выращены слои $Hg_{1-x}Cd_xTe$ с составом $x=0,3-0,34$.

В выращенных структурах методом Холла измерены концентрация и подвижность носителей, методом селективного травления определена плотность дефектов упаковки, прорастающих дислокаций и антифазных границ, определена плотность макроскопических V-дефектов.

Установлено, что антифазные границы снижают подвижность носителей в слоях КРТ и являются причиной образования макроскопических V-дефектов. Наличие дефектов упаковки не приводит к образованию V-дефектов, но также снижает подвижность носителей заряда. Показано, что оптимизация процессов подготовки поверхности и условий роста позволяет выращивать однодоменные пленки буферных слоев CdTe на подложках Si(310) и снизить плотность V-дефектов.

Выращены однодоменные слои HgCdTe на подложках Si(310) с плотностью V-дефектов $2000-5000 \text{ см}^{-2}$ и плотностью дефектов упаковки меньшей, чем 10^6 см^{-2} . Концентрация электронов составляет $(5-10) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, подвижность $(1,5-2,5) \cdot 10^4 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ и времена жизни неосновных носителей $\tau_{300}=1-3 \text{ мкс}$, $\tau_{77}=5-15 \text{ мкс}$. С помощью отжига в инертной атмосфере при 215°C пленки переводились в р-тип со следующими параметрами: концентрация дырок - $(5-15) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и подвижность - $200-400 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$. Время жизни неосновных носителей в пленках р-типа с $x=0,3-0,34$ составляет $\tau_{77}=35-50 \text{ нс}$. Из структур р-типа с помощью ионной имплантации были изготовлены матрицы фотодиодов с размерностью 128×128 . Измерение основных фотоэлектрических характеристик фотоприемного устройства показало возможность достижения следующих параметров:

| Наименование параметра | Полученное значение |
|---|----------------------|
| Длина волны максимума спектральной чувствительности λ_m , мкм | 3,83 |
| Среднеквадратичное отклонение от среднего значения, % | $\pm 15,4$ |
| Средняя пороговая облученность в максимуме чувствительности P с холодной диафрагмой, $\text{Вт}/\text{см}^2$ | $4,5 \times 10^{-8}$ |
| Количество дефектных элементов (не удовлетворяющих требованиям для вольт-ваттной чувствительности и $P < 2,5 \times 10^{-8}$), % | 3,1 |
| Рабочая температура, К | 78 |

Разработана технология, позволяющая создавать методом МЛЭ на подложках из кремния диаметром до 100 мм, нелегированные образцы КРТ дырочного типа проводимости. Образцы соответствуют требованиям назначения при их использовании в многоэлементных и матричных ФПУ и обеспечивают высокие фотоэлектрические параметры.

У27 Особенности легирования арсином эпитаксиальных слоев CdTe и Cd_xHg_{1-x}Te в MOCVD процессе

¹Котков А.П., ¹Гришнова Н.Д., ¹Моисеев А.Н., ¹Сучков А.И., ²Перепелицын Ю.Н.,
³Жаворонков Н.В., ³Давыдов А.А., ⁴Дроздов Ю.Н., ⁴Дроздов М.Н.

¹Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия

²Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН, Саратов, Россия

³ЗАО «НИИ Материаловедения», Зеленоград, Россия

⁴Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

Цель работы заключалась в разработке методик изготовления p-n переходов в CdTe, а также выращивания легированных эпитаксиальных слоев Cd_xHg_{1-x}Te (x=0,2÷0,3) p-типа методом химического осаждения из газовой фазы.

В качестве акцепторной примеси был выбран мышьяк, а его источником для легирования из газовой фазы – арсин. Для проведения исследований были использованы подложки GaAs и CdZnTe (ZnTe=2÷4 %) различных ориентаций, а также объемные кристаллы CdTe n-типа, легированные индием, с ориентацией рабочей поверхности (110).

Исследовали влияние температуры подложки, температуры стенок реактора, парциального давления арсина и диметилкадмия на степень легирования мышьяком эпитаксиальных слоев CdTe.

Установлено, что добавление арсина в реакционную смесь в зависимости от условий осаждения может приводить к снижению или увеличению скорости роста слоев CdTe, изменению состава слоев Cd_xHg_{1-x}Te и не всегда приводит к повышению концентрации мышьяка в слоях CdTe.

Сделан вывод о том, что заметное вхождение мышьяка в слои CdTe наблюдается в случае, если добавление арсина в реакционную смесь увеличивает скорость осаждения слоев. Предложена модель осаждения, объясняющая влияние арсина на скорость роста CdTe и состав слоев Cd_xHg_{1-x}Te изменением концентрации кадмийсодержащих компонентов (из-за взаимодействия с арсином) в реакционной смеси при ее движении от входа в реактор к подложке.

Измерение электрофизических параметров полученных образцов CdTe показало, что добавление арсина в реакционную смесь приводит к уменьшению удельного сопротивления слоев CdTe с 3×10^4 ом×см (без арсина) до $2 \div 300$ ом×см в зависимости от условий выращивания. Из измерений методом Ван дер Пау отдельных образцов, выращенных в присутствии арсина, следует, что при T=300 К они имеют p-тип проводимости, концентрация дырок в них меняется от 6×10^{14} до 6×10^{16} см⁻³, подвижность от 40 до 350 см²/(в×с).

Методом рентгеновской дифракции установлено, что мышьяк входит в решетку CdTe, уменьшая ее период. С увеличением доли мышьяка совершенство слоя падает. При одинаковом вхождении мышьяка совершенство слоев (310) выше, чем (110) и (111).

Методом электронного микронзонда установлено, что при увеличении концентрации мышьяка в слое, содержание теллура снижается, а кадмия – либо не изменяется, либо несколько возрастает. Это свидетельствует о том, что атомы мышьяка в слоях преимущественно образуют связь с атомами кадмия.

По разработанной методике получен p-n переход в CdTe путем осаждения эпитаксиальных слоев CdTe p-типа на монокристаллы CdTe n-типа. Выращены эпитаксиальные слои CdHgTe p-типа с различным уровнем легирования мышьяком.

У28 Влияние кристаллографической ориентации КРТ на морфологию поверхности покрытия теллурида кадмия

Головин С.В., Кашуба А.С., Пермикина Е.В., Данилова Т.С., ¹Смирнова Н.А.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹ФГУП «Гиредмет», Москва, Россия

Нанесение пассивирующего покрытия на эпитаксиальный слой КРТ р-типа является одним из наиболее важных процессов при изготовлении фоточувствительных матриц. Большое значение имеет морфология поверхности покрытия, поскольку через него или протравленные в нем окна проводится ионное легирование для получения n-областей р-n-переходов. Наличие на поверхности фигур роста и шероховатостей, часто встречающихся при эпитаксиальном наращивании, отрицательно влияет на качество р-n-переходов. В настоящей работе представлены результаты исследования эпитаксиального покрытия теллурида кадмия, полученного осаждением из паровой фазы методом «горячей стенки».

Структуры, на поверхность которых наносился теллурид кадмия, представляли собой слои КРТ на подложках CdZnTe ориентации (111). Они были выращены при помощи жидкофазной эпитаксии на предприятии ФГУП «Гиредмет» и являются стандартным исходным материалом для изготовления матриц. Толщина теллурида кадмия измерялась по спектру оптического отражения на ИК-спектрофотометре FTIR-8400S «SHIMADZU».

Было обнаружено, что при одинаковых режимах процесса нанесения покрытие теллурида кадмия получалось двух основных типов: гладкое зеркальное толщиной до 1,5 мкм и шероховатое менее 0,5 мкм толщиной.

Покрытие второго типа было неблагоприятно для получения фотодиодов высокого качества, а при толщине менее 0,3 мкм становилось совершенно непригодным для дальнейших операций. При наличии на подложке двойников на одной пластине наблюдались оба типа покрытия с четкой границей между ними. Это позволило предположить, что морфология поверхности зависит от кристаллографической полярности подложки в направлении (111).

Для исследования полярности применялся селективный травитель на основе фтороводородной кислоты и хромового ангидрида, разработанный в ФГУП «Гиредмет». С его помощью было установлено, что нанесению относительно более толстого и блестящего покрытия способствует поверхность (111)Te. Напротив, кадмиевая сторона КРТ неблагоприятно влияет на процесс нанесения CdTe, покрытие получается шероховатым и тонким. Подобное влияние может быть объяснено тем, что коэффициент прилипания компонентов паровой фазы к подложке различен: у молекул Te₂ он выше, чем у молекул Cd.

У29 Влияние защитных анодных покрытий на химико-механическую устойчивость эпитаксиальных слоёв тройных твёрдых растворов кадмий-ртуть-теллур, марганец-ртуть-теллур

Рыжков В.Н., Алеева Р.В., Гумаров Г.Г., Петухов В.Ю., Андреев В.А., Несмелова И.М.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

С целью защиты и стабилизации поверхности кристаллов теллурида кадмия-теллурида ртути (КРТ), применяемых для изготовления фотоприёмников, разработана технология формирования на поверхности кристаллов анодных окисных плёнок с использованием электролита на основе водного раствора КОН в этиленгликоле [1]. Однако такие плёнки недостаточно стойки к щелочам и другим растворам, применяемым в фотолитографических процессах при изготовлении фотоприёмников. Кроме того, они обладают малой механической прочностью. Нами было показано, что перечисленные недостатки можно значительно уменьшить, используя в качестве электролита одномолярный раствор лимоннокислого натрия при первоначальной плотности тока (1-50) мА/см² [2].

В работе изучалось влияние защитного анодного покрытия, описанного в [2], на химическую стойкость и механическую прочность эпитаксиальных слоёв КРТ и МРТ (теллурид марганца-теллурид ртути). Исследования проводились на эпитаксиальных слоях КРТ и МРТ, полученных методом жидкофазной эпитаксии из теллуридных растворов-расплавов. Выращенные слои имели концентрацию носителей заряда (5–80)·10¹⁵ см⁻³ и подвижности $\mu_n = (10^4 \div 10^5) \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и $\mu_p = (2 \div 5) \cdot 10^2 \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ при 77 К.

Химическая стойкость анодных плёнок исследовалась при воздействии на образцы 0.1-молярного раствора КОН и проявителя на основе натрия фосфорнокислого 3-х замещённого. Получено, что предлагаемые нами анодные плёнки, сформированные на поверхности КРТ, растворяются почти в 10 раз медленнее, чем анодные плёнки, полученные по методике, описанной в [1]; плёнки, сформированные на поверхности МРТ, практически не разрушались.

Микротвёрдость анодных плёнок исследовалась с помощью твердомера ПМТ-3, в качестве индентора был использован бицилиндр Егорова. Микротвёрдость плёнок, сформированных на поверхности КРТ, равнялась $\sim 3.77 \cdot 10^2 \text{кГс/мм}^2$, а на поверхности МРТ $\sim 7.53 \cdot 10^2 \text{кГс/мм}^2$, т.е. механическая прочность анодных плёнок на МРТ почти в 2 раза выше, чем плёнок на КРТ.

Фазовый состав и кристаллическая структура пленок исследовалась методом рентгеновской дифракции при скользящих лучах. На рентгеновских спектрах от образцов, анодированных с использованием лимоннокислого натрия, наблюдаются только линии, принадлежащие HgTe, т.е. исходным эпитаксиальным слоям теллуридов, что позволяет сделать вывод об аморфности нанесенной пленки.

1. P.Morgen et.al. J. Vac. Sci. Technol. 21, 161 (1982).
2. В.Н. Рыжков, К.К. Мещенко, Н.Ф. Миронов, В.А.Андреев. А.С. № 242643 от 01.09.86.

У30 Влияние отжига на свойства эпитаксиальных слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$ с анодным окислением

Гусейнов Э.К., Эминов Ш.О., Раджабли А.А., Исмаилов Н.Д., Ибрагимов Т.И.
Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

В настоящем сообщении представлены результаты исследования влияния термического отжига на свойства поверхности эпитаксиальных слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$, полученных методом испарения-диффузии в изотермических условиях роста в вакуированной кварцевой ампуле. Исходная концентрация дырок в выращенных эпитаксиальных слоях составляла $p \sim 1 \cdot 10^{16} \div 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (77К). Слои имели варизонную структуру, т.е. состав x изменялся по толщине слоя монотонно, причем на поверхности $x=0.2$. Эпитаксиальные слои сразу же после извлечения из кварцевой ампулы по окончании роста подвергались анодному окислению в электролите на основе КОН в смеси этиленгликоля и воды в гальваностатическом режиме, который позволяет сохранять стехиометрию эпитаксиального слоя. После этого проводился термический отжиг в атмосфере ртути при температурах 200 - 250°C длительностью 20-30 мин. Установлено, что в результате отжига в этих условиях концентрация электронов на поверхности составляет $n \sim 4 \cdot 10^{14} \div 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, а подвижность электронов $\mu_n \sim 2 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В с}$.

Анализ спектров оптического отражения показал, что с ростом температуры отжига концентрация ртути в приповерхностной области растет. Ртуть накапливается в межузлиях решетки приповерхностной области эпитаксиального слоя $Cd_xHg_{1-x}Te$ n-типа и в процессе отжига мигрирует в объем эпитаксиальной пленки, что приводит к конверсии типа проводимости (n→p). Сделано предположение, что относительно малый уровень концентрации электронов связан с химической реакцией, происходящей между АО и $Cd_xHg_{1-x}Te$ на границе раздела

Таким образом, показано, что применение анодного окисления поверхности эпитаксиального слоя перед термическим отжигом позволяет значительно понизить концентрацию электронов по сравнению с концентрациями, достигаемыми при обычном отжиге, и расширяет возможности применения эпитаксиальных слоев для создания фоторезисторов.

УЗ1 Структура и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$

Нуриев И.Р., Гаджиев М.Б., Садыгов Р.М., Назаров А.М.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

В настоящей работе приводятся результаты исследования особенностей роста, структуры и фотоэлектрических свойств эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ различных химических составов ($x=0,02\div 0,04$) выращенных на подложках $BaF_2(111)$ методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па.

Установлены оптимальные значения скорости конденсации ($8\div 9 \text{ \AA}/\text{сек}$) и температуры подложки $T_{\text{п}}=663\div 673 \text{ К}$ при которых получены эпитаксиальные пленки с зеркально-гладкой поверхностью, совершенной кристаллической структурой ($W_{1/2}=80\div 100''$) плоскостью роста (111) и с параметрами решеток $a=(6,10\div 6,05) \text{ \AA}$.

Структурное совершенство пленок контролировалось электронографическим, рентгенодифрактометрическим и электронно-микроскопическим методами.

На электронно-микроскопических снимках полученных пленок наблюдаются черные пятна, свидетельствующие о наличии второй фазы, являющиеся окислами металла, образовавшиеся в процессе роста вследствие захвата кислорода с излишними атомами свинца.

Эпитаксиальные пленки с вышеуказанными параметрами были получены использованием дополнительного компенсирующего источника паров Se в процессе роста. Применение такого источника привело к получению пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ с чистой, гладкой поверхностью без включения второй фазы, что необходимо для создания на их основе различных фоточувствительных структур с высокими параметрами.

Полученные пленки оказались фоточувствительными в области спектра $3\div 5 \text{ мкм}$, при температуре 77 К . Максимальное значение фоточувствительности наблюдается при длинах волн $\lambda_{\text{max}}=5\div 3 \text{ мкм}$. Смещение максимума спектральной фоточувствительности в сторону более коротких волн объясняется сильным возрастанием ширины запрещенной зоны в пленках исследуемых твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xSe$ с ростом содержания марганца.

У32 Использование ионных источников с холодным катодом для решения технологических задач микрофотоэлектроники

Козлов А.Н., Зайцев А.И., Даниловский А.Е., Щербаков А.В., Филачев А.М.
ФГУП «НПО» ОРИОН», Москва, Россия

Различные характеристики ионных источников с холодным катодом, включая высокую энергию частиц и широкий диапазон изменения параметров, делают системы ионных пучков пригодными для нанесения сложных покрытий. Ионные источники имеют ряд неоспоримых преимуществ в тонкопленочных технологиях над традиционными средствами напыления. В работе рассмотрены процессы ионного травления, ионной очистки, асистирувания, и напыления тонких пленок в технологии микрофотоэлектроники.

Технология с применением ионных пучков успешно развивается для различных критических применений в современных процессах получения тонкопленочных покрытий. В процессах формирования пленочных покрытий, модификации свойств поверхностных слоев, травления тонких пленок, широко используется ионно-лучевая обработка. Для эффективного применения этих методов следует обратить внимание на их особенности, связанные, во-первых, с взаимодействием ускоренных, заряженных частиц в вакууме между собой, во-вторых, с взаимодействием этих частиц с материалами.

В сравнении с плазменными технологическими процессами, процессы с применением ионных источников позволяют независимо контролировать энергию пучка, плотность ионного тока, направление пучка и остаточное давление в камере. Ионные источники могут работать при низком остаточном давлении и поэтому могут подходить для процессов с низкими загрязнениями без привнесения примесей. Обладая большой гибкостью управления, системы ионных пучков могут быть использованы в решении большого круга задач. Это очистка подложек, очистка материалов, ионное травление, реактивное травление, ионно-химическое травление, осаждение распылением, реактивное осаждение распылением, ионное асистирувание при нанесении пленок другими методами, нанесение алмазоподобных покрытий (CVD) и модификация свойств материалов или модификация морфологии поверхности тонких пленок.

В работе даны рекомендации по использованию промышленных ионных источников с холодным катодом, типа Радикал, ИОН-2, ИОН-4 и др., в технологических установках.

У33 Автоматизация технологического процесса электронно-лучевой сварки

Щербаков А.В., Козлов А.Н., Уваев А.Г., Гринфельд Д.Э.
ФГУП «НПО» ОРИОН», Москва, Россия

Электронно-лучевая сварка может применяться в самых различных отраслях промышленности, в том числе при изготовлении вакуумных корпусов фотоэлектронных приборов. Автоматизация данного процесса является весьма актуальной задачей. В статье рассмотрены варианты построения систем автоматизированного управления установками электронно-лучевой сварки.

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) находит все более широкое применение в самых различных отраслях современной промышленности. Зачастую данная технология играет ключевую роль в производственном цикле, особенно если речь идет о выпуске изделий точной механики, или сварки тугоплавких металлов и сплавов.

К числу основных преимуществ технологии ЭЛС наряду с минимальным окислением свариваемых деталей и высоким КПД оборудования, относится высокая степень управляемости технологическим процессом. Ток электронного пучка, его фокусировка и отклонение могут регулироваться в довольно широких пределах. Это позволяет сваривать детали сложной формы, состоящие из самых различных металлов и сплавов, осуществляя регулирование параметров сварки в автоматическом режиме.

Однако следует принять во внимание и сложность оборудования для осуществления технологии ЭЛС. Наличие двухконтурной системы вакуумной откачки, высоковольтного источника питания, электронно-оптической системы и внутрикамерного манипулятора делает автоматизацию электронно-лучевого сварочного оборудования весьма сложной задачей. Необходимость решения этой задачи обусловлена потребностью в получении высокой воспроизводимости качества и геометрии шва при высокой точности наведения электронного пучка на стык свариваемых деталей, а также в решении так называемой «проблемы оператора» при эксплуатации сложного оборудования.

Один из возможных вариантов построения такой системы управления – это применение ЭВМ в качестве звена системы верхнего уровня и использование блоков управления на базе схем с «жесткой» логикой и программируемых микроконтроллеров, реализующих основные блокировки и простейшие алгоритмы управления. Подобные системы, предназначенные для управления вакуумными системами и внутрикамерными манипуляторами, уже существуют и выпускаются серийно, в том числе и в России. Что же касается систем управления электронно-оптической колонной (электронно-лучевой пушкой), и сваркой в целом, то здесь ситуация иная. Структура такой системы определяется в каждом конкретном случае, и зависит от показателей назначения установки и характеристик самой пушки. При разработке такой системы особый интерес представляет решение задач регулирования тока пучка в процессе сварки и наведения пучка на стык свариваемых деталей.

УЗ4 Источники ионов для операций ионно-лучевой технологии

Гончаров Л.А.¹ Григорьян В.Г.²

¹ООО «Фирма «ПЛАТАР», Москва, Россия

²Московский авиационный институт

(Государственный технический университет), Москва, Россия

Возможности ионно-лучевой технологии (ИЛТ) позволяют создавать изделия с уникальными свойствами. С помощью ИЛТ проводят очистку поверхности перед нанесением покрытий, осуществляют травление интегральных микросхем и мозаичных структур с субмикронным разрешением, обрабатывают со сверхвысокой точностью оптические поверхности, наносят многослойные высококачественные покрытия, формируют рельеф опор газовых подшипников, получают сверхострые режущие кромки металлического и керамического медицинского инструмента и т.п.

Во всех этих операциях использовались сеточные источники, созданные в наших организациях, в которых извлечение ионов из плазмы газового разряда и формирование их в пучки с нужной плотностью тока и энергией осуществляется с помощью густоперфорированных электродов (сеток). Такие источники позволяют генерировать широкоапертурные пучки ионов различных, в том числе и химически активных газов, в диапазоне энергий 0,2...5кВ, с независимой регулировкой плотности тока 0,1...10 ма/см². Несомненным достоинством таких устройств является обеспечение высокой однородности плотности тока по сечению пучка, моноэнергетичность пучка, возможность обработки больших площадей, высокая газовая и энергетическая эффективность.

В основе ИЛТ лежит процесс распыления поверхности ионами высоких энергий. Интенсивность распыления зависит в основном от материала мишени энергии и сорта ионов, но ограничений для обработки ИЛТ твердых материалов не существует, причем для реализации процесса в большинстве случаев потребляется только электрическая энергия и инертный газ, что делает эту технологию экологически чистой.

Поскольку поток ускоренных ионов, покидающий источник формируется множеством единичных пучков, то за счет профилирования электродов можно получать необходимые распределения плотности ионного тока на обрабатываемой поверхности. Так вогнутые электроды диаметром 100мм позволяют иметь плотность тока до 20 ма/см² в зоне диаметром 40мм с однородностью не хуже 5%. Выпуклые электроды того же позволяют обрабатывать зону диаметром 180 мм с такой же однородностью при плотностях тока 1 ма/см.²

В источниках газоразрядной плазмы могут реализовываться различные способы ионизации атомов электронным ударом. Это источники типа Кауфмана с накальным катодом, но использование химически активных газов (кислорода, хлор, фтор содержащих газов) делает неприемлемым использование таких устройств. В этом случае используются так называемые холодные катоды, в которых для получения электронов используется тлеющий разряд или источники с высокочастотным разрядом. Основное достоинство этих источников заключается в отсутствии высокотемпературных элементов конструкции, а к их недостаткам следует отнести низкую газовую эффективность, что приводит к повышению мощности откачных средств, и меньшие плотности тока пучка.

Фирма "ПЛАТАР" разрабатывает и выпускает все вышеперечисленные типы источников ускоренных ионов и блоки питания к ним. Источники, по желанию заказчика, могут монтироваться на стандартных фланцах серийных вакуумных установок или же реализуется индивидуальная привязка внутри вакуумной камеры.

У35 Опыт разработки электронно-оптического преобразователя диапазона 8-14 мкм

Муртазин А.М., Олихов И.М., Соколов Д.С.¹

ФГУП «НИИ «Платан» с заводом при НИИ», Фрязино, Московская обл., Россия

¹ОАО «НИИЭПр», Москва, Россия

Сопоставление технических характеристик тепловых детекторов и микроболометров показывает, что реальную конкуренцию болометрам на VO_x и Si составляют гибридные пироэлектрические приемники на основе сегнетоэлектрической керамики и органическом пироэлектрике. Причины этого заключаются в отсутствии дробового шума, уменьшении геометрического шума, большой постоянной времени накопления и др., что позволяет оценить теоретический предел NETD пироэлектрических приемников, как минимум, на порядок лучше, чем у микроболометров (т.е. $\sim 0,1$ мК).

Нами предложена конструкция многоэлементного ИК-приемника на базе ЭОПа. Пироэлектрический электронно-оптический преобразователь (ПЭОП) представляет собой объединение в одном приборе пироприемника и электронно-оптического преобразователя, в котором посредством модуляции потока электронов электрическим полем ЧЭ пироэлектрической матрицы осуществляется преобразование ИК изображения в видимое, отображаемое на катодолюминесцентном экране. Наличие в составе ПЭОП вместо обычного фотокатода матричного теплового приемника – модулятора электронного потока позволяет создать тепловизионный прибор, минуя операции мультиплексирования выходного сигнала.

В ПЭОП преобразование ИК теплового изображения в видимое достигается путем его попиксельной дискретизации и модуляции однородного потока электронов матричным пироэлектрическим тепловым приёмником излучения – пироэлектрической мишенью (рис. 1).

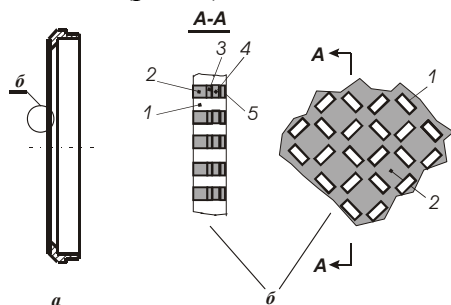


Рис. 1. Пироэлектрическая мишень

а - кольцо мишени;

б - структура пироэлектрической мишени.

1. – отверстие мишени; 2. – пироэлектрический слой; 3. - управляющий электрод; 4. - несущая диэлектрическая пленка; 5. – поглощающее ИК излучение покрытие.

В процессе работы над ПЭОП были предложены технические решения, позволившие создать экспериментальные образцы ПЭОП, на которых впервые в мировой практике получено ИК

изображение на катодолюминесцентном экране ЭОП с пироэлектрической мишенью. На первых экспериментальных образцах зарегистрирована чувствительность по температуре (МРТ) в 1°K и разрешающая способность в 2,5 лин./мм.

Таким образом, хотя сам факт создания экспериментальных образцов ПЭОП подтвердил правильность заложенных принципиальных технических решений, достигнутые значения пространственного разрешения и температурной чувствительности еще очень далеки от ожидаемых.

Анализ работоспособности прибора (от фотокатода до катодолюминесцентного экрана) позволил выявить причины, не позволившие получить на данном этапе работы более высоких значений разрешающей способности и чувствительности, и наметить пути их достижения. Разработчики надеются, что предлагаемые ими пути увеличения чувствительности и разрешающей способности позволят в последующей разработке достичь характеристик микроболометрических приемников (чувствительность $0,05 \dots 0,1^\circ\text{C}$, разрешение – 12...15 лин./мм) и реализовать в дальнейшем потенциальные преимущества пироэлектрика.

У36 Спектральная фильтрация ИК-изображений

Филачев А.М., Сагинов Л.Д., Кононов А.С., Свиридов А.Н., Бакуменко В.Л.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В последние годы возрастает внимание к устройствам, обеспечивающим получение изображений объектов в заданных узких спектральных диапазонах - spectral imaging (**SI**).

В докладе обсуждаются работы, посвященные этому перспективному направлению развития тепловидения – спектральному тепловидению. Для реализации **SI** используются как методы непосредственной оптической фильтрации принимаемого излучения с помощью перестраиваемых оптических фильтров различных видов (акустооптические, интерференционные, интерференционно-поляризационные, с использованием явления полного внутреннего отражения и др.), так и методы выделения спектральных изображений, основанные на компьютерной обработке оптических полей, регистрируемых матричным приемником (например, сигналов после Фурье – интерферометра, голограмм и др.). Анализируются принципы спектральной селекции изображений и пути построения спектральных тепловизоров.

УЗ7 Тепловизионная камера с линейчатым ФПУ: идеология, реализация, результаты

Терешин Е.А., Журавлев П.В.

*Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН
(КТИ ПМ), Новосибирск, Россия*

В течение последних лет в КТИ ПМ ведутся интенсивные работы по созданию тепловизионных приборов различного назначения, в результате которых сформирована идеология построения, необходима кооперация и получены результаты по трем важным, тепловизионным направлениям:

1. Малогабаритные приборы - на основе неохлаждаемых (болومترических) матричных ФПУ;
2. Матричные приборы - на основе охлаждаемых матричных ФПУ;
3. Сканирующие приборы - на основе охлаждаемых линейчатых ФПУ.

В докладе, на примере разработанной и выпускающейся мелкой серией тепловизионной камеры «ТПК-Т», представлен обзор основных результатов, достигнутых при создании сканирующих тепловизионных приборов.

ТПК-Т является оригинальной разработкой, построенной по укрупненной схеме, представленной на рисунке 1.

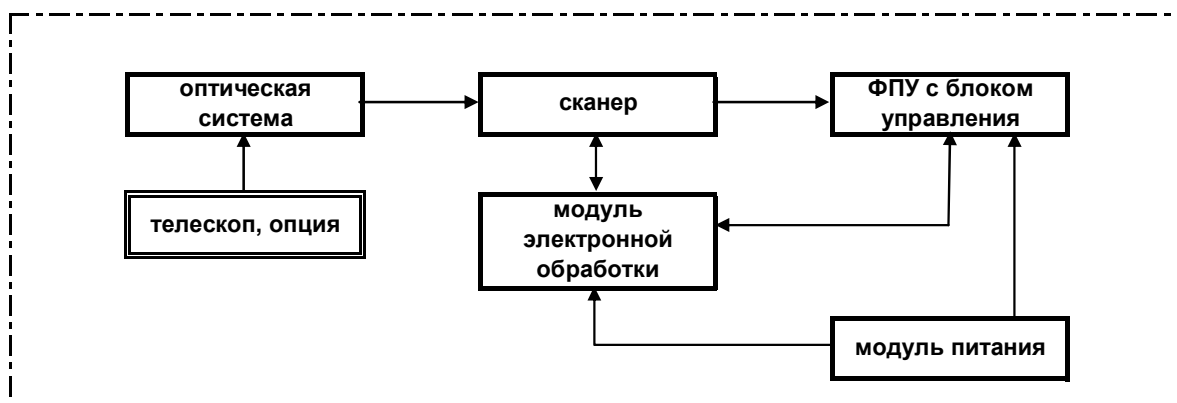


Рисунок 1 – Укрупненная схема тепловизионной камеры

Логика построения ТПК-Т является таковой, что практически каждый элемент укрупненной схемы представляет собой комплект взаимозаменяемых компонентов. Компоненты в комплекте разработаны таким образом, чтобы они обладали различными качественными характеристиками и унифицированными параметрами по стыковке со смежными элементами. Подобная логика построения позволяет на основе общей модели формировать тепловизионную камеру с заданными массогабаритными характеристиками и показателями назначения под конкретное исполнение.

УЗ8 XIX Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Проблемы, результаты.

Дирочка А.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведен анализ докладов, представленных на XIX Международную научно-техническую конференцию по фотоэлектронике и приборам ночного видения.

Представленные доклады условно могут быть разделены на следующие направления: оптические приборы, конструкция их и технология; тепловизионные приборы; приборы ночного видения на основе ЭОП; матричные и линейчатые фотоприемные устройства, включая технологию, электронику, системы термостатирования и системы обработки информации; ЭОП-ы для решения различных задач, в том числе гибридные, с чувствительностью до 12 мкм. Отдельно можно выделить одно - и малоэлементные ФПУ, прежде всего, лавинные фотодиоды, ФПУ на основе широкозонных кристаллов для ультрафиолетовой области спектра.

Значительное число докладов посвящено исследованию фотоэлектрических явлений в нетрадиционных фотопроводниках и полупроводниковых структурах, в том числе и исследованию фотомагнитного эффекта в АФН-пленках.

Рассмотрены также проблемы создания элионного оборудования и его элементов для технологии микрофотоэлектроники.

Приведены статистические данные по XIX-й Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения.

УЗ9 Применение лавинных фотоприемников с большой площадью фоточувствительной поверхности для одноквантовой регистрации оптического излучения

Зеневич А.О., Новиков Е.В.

*Высший государственный колледж связи, Минск, Республика Беларусь
220114, ул. Ф. Скорины, 8 к. 2, Тел: 2175607, Факс: 2644414, E-mail: zao@vks.belpak.by*

Для регистрации предельно слабого излучения оптического диапазона все более широкое применение находят лавинные фотоприемники (ЛФП), работающие в режиме счета фотонов. Такие фотоприемники имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционно применяемыми для этих целей фотоэлектронными умножителями: низкое напряжение питания, небольшие габариты, высокая механическая прочность.

Обычно для реализации режима одноквантовой регистрации при комнатных температурах используются кремниевые ЛФП, имеющие небольшую площадь фоточувствительной поверхности ($0.3 \div 0.5 \text{ мм}^2$) [1]. Лавинные фотоприемники с большими площадями фоточувствительной поверхности при комнатных температурах имеют достаточно высокий уровень термоэлектрических шумов, что не позволяет реализовать режим одноквантовой регистрации. Однако при решении ряда задач, связанных с регистрацией слабого оптического излучения, не удается полностью сфокусировать оптическое излучение на небольшой площади, из-за чего возникают потери информации или возрастает погрешность измерений. Фотоприемники с большой площадью фоточувствительной поверхности в режиме одноквантовой регистрации могут эффективно применяться только при их охлаждении, что, естественно, усложняет и удорожает устройство.

Цель предлагаемой работы - показать возможность использования для регистрации оптического излучения при комнатных температурах фотоприемников с большой площадью фоточувствительной поверхности, работающих в режиме одноквантовой регистрации.

В качестве объектов исследования использовались лавинные фотоприемники, изготовленные на основе КДБ-1 с использованием гетероперехода ZnO-Si с фоточувствительной площадкой 7 мм^2 . Такие ЛФП были специально разработаны для одноквантовой регистрации оптического излучения в диапазоне длин волн $0,4 \div 1,1 \text{ мкм}$ и имеют малый темновой ток при напряжениях питания близких к напряжению пробоя ЛФП ($10 \div 40 \text{ нА}$).

Отметим, что режим одноквантовой регистрации был реализован как при помощи схемы пассивного гашения пробоя, так и для активного гашения. Подтверждением того, что ЛФП работали в режиме одноквантовой регистрации, является наличие линейной зависимости между числом выходных импульсов, вызванных фотонами оптического излучения, и интенсивностью этого излучения. При этом использование схемы активного гашения пробоя позволило увеличить динамический диапазон скорости счета сигнальных импульсов.

Проведено сравнение работы в режиме одноквантовой регистрации ЛФП с большой площадью фоточувствительной поверхности с серийно выпускаемыми лавинными фотодиодами ФД-115Л и показано, что по своим характеристикам ЛФП не уступают лавинным фотодиодам ФД-115Л.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что ЛФП с гетеропереходом ZnO-Si и фоточувствительной площадкой 7 мм^2 могут быть эффективно использованы для одноквантовой регистрации оптического излучения.

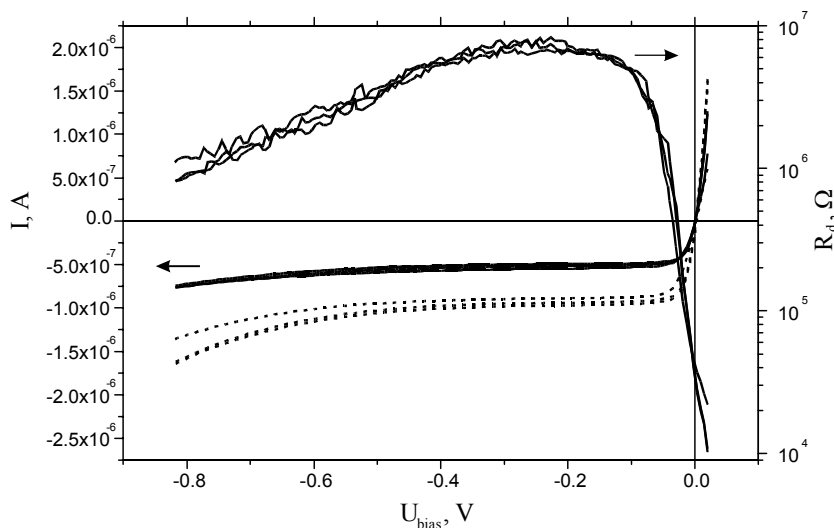
1. Гулаков И.Р., Холондырёв С.В. Метод счёта фотонов в оптико-физических измерениях. – Минск.: Университетское, 1989. – 256 с.

У40 Фотодиоды на основе р-типа ГЭС КРТ МЛЭ с низкой концентрацией носителей заряда

Васильев В.В., Дворецкий С.А., Михайлов Н.Н., Протасов Д.Ю., Смирнов Р.Н.
Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Проведено изучение параметров n⁺-р переходов, полученных имплантацией ионов бора В⁺ в гетероэпитаксиальные структуры (ГЭС) теллурида кадмия и ртути (КРТ), выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии МЛЭ, на подложках из арсенида галлия (АГ). Концентрация носителей заряда и подвижность определена из измерений эффекта Холла при температуре жидкого азота в интервале напряженности магнитного поля 0÷2 Тл и составили $p=3,3 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и $\mu_p = 280 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$ для дырок и $\mu_n=230000 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$, $n=1,2 \times 10^{11} \text{ см}^{-3}$ для электронов, соответственно. Время жизни неосновных носителей было измерено бесконтактным методом СВЧ по релаксации фотопроводимости и составило 82 нс. Дырочный тип проводимости ГЭС КРТ МЛЭ (АГ) получен в процессе роста без преднамеренного легирования. Состав рабочего слоя измерен по спектрам пропускания и составляет 0,226, что соответствует длинноволновой границе $\lambda_{0,5}=10,6 \text{ мкм}$.

На рисунке приведены вольт-амперная характеристика (ВАХ) и динамическое сопротивление (R_d) типичного фотодиода. Темновой ток фотодиода (сплошная линия) при обратном смещении -100 мВ составляет 500 нА и практически не зависит от смещения до



Вольт-амперные характеристики и дифференциальное сопротивление диодов при T=77 К. Сплошные линии – без фоновой засветки, пунктирные – засветка фоном с температурой 293 К и апертурой $2\Theta=18^\circ$.

напряжений -400 мВ. При фоновой засветке с апертурой $2\Theta=18^\circ$ ток составляет 900 нА при обратном смещении -100 мВ и не изменяется до -400 мВ. Такое поведение характеризует высокое качество фотодиода. Произведение $R_0 \times A$, где R_0 и A – сопротивление при нулевом смещении и эффективная площадь p-n перехода, соответственно, составляет $20 \text{ Ом} \times \text{см}^2$ при T=77 К. При смещении -250 мВ максимальное

произведение $R_d \times A$ составляет $4 \times 10^3 \text{ Ом} \times \text{см}^2$. Для оценки этих параметров эффективная площадь диода

с учетом диффузионной длины неосновных носителей принималась равной $5 \times 10^{-4} \text{ см}^2$, кроме того, учитывался сбор боковых носителей.

Полученные данные свидетельствуют о высоком качестве фотодиодов, параметр $R_0 \times A$ которых превышает известные литературные данные для $\lambda_{0,5}=10.6 \text{ мкм}$.

У41 О фотоиндуцированных и тепловых шумах полупроводниковых $p+n$ переходов

Тaubкин И.И.

ФГУП «НПО «ОРИОН», Москва, Россия

Рассчитаны координатные и частотные зависимости фототока и фотоиндуцированных шумов короткозамкнутого $p+n$ перехода при поглощении излучения в n -области в плоскости, расположенной параллельно слою объёмного заряда на разных расстояниях от него. Расчёт шумов выполнен методом Ланжевена для диодов с "длинной" и "короткой" n -областью (по сравнению с диффузионной длиной дырок в ней), причём захват и освобождение дырок с поверхностных уровней предполагались случайными пуассоновскими процессами.

При круговых частотах, меньших обратного времени диффузионного пролёта фотодырок к области объёмного заряда, фотоиндуцированные шумы описываются соотношениями, аналогичными, выведенным ранее для шумов вакуумных многоэлектродных ламп и включающими шумы токораспределения. В частности, если для потока фотонов существенна поправка на Бозе-Эйнштейновскую статистику (коэффициент вырождения к больше единицы), то спектральная плотность фотоиндуцированных шумов оказывается также в k раз больше дробовых шумов фототока.

Поскольку в эквивалентную шумовую схему вакуумных ламп генератор шумов токораспределения вводится исходя только из обобщённых представлений о прохождении шумящего потока через систему с флуктуирующим пропусканием (теорема Бэрджесса) и о неделимости электронов, то физические механизмы формирования шумов токораспределения в вакуумных лампах остаются нераскрытыми.

Установлено, что в полупроводниковых $p+n$ диодах компонента фотоиндуцированного шума, обусловленная токораспределением, возникает из-за пуассоновских флуктуации диффузии и рекомбинации фотодырок, образующих при диффузионном растекании их от места генерации в электрически нейтральной n -области стационарный профиль концентрации.

Показано, что тепловые и фотоиндуцированные шумы полупроводниковых диодов описываются общими закономерностями. При этом для тепловых шумов коэффициент k равен единице. На частотах, больших обратного времени пролёта, тепловые и фотоиндуцированные шумы $p+n$ переходов обусловлены шумами токораспределения, определяются флуктуациями диффузии дырок и соответствуют дробовым шумам низкочастотных темнового или фототока.

У42 Влияние геометрически структурированных электрического и магнитного полей на параметры кремниевых и германиевых фотодиодов

Добровольский Ю.Г., Фотий В.Д.
КТБ «Фотон», Черновцы, Украина

Актуальная проблема современной микрофотоэлектроники - минимизация уменьшения времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниковом приборе в процессе его изготовления обычно решается путем оптимизации технологических процессов, а в конечном итоге – отбраковкой ненадежных изделий. Однако решение этой проблемы возможно бесконтактным воздействием на полупроводниковые приборы, по крайней мере, на фотодиоды, внешним геометрически структурированным статическим электрическим и магнитным полями (ГСЭМП), которое осуществляется при комнатной температуре [1]. Такое воздействие (его геометрическая структуризация) осуществляется через поверхность конической формы. Ранее проведенные исследования показали [2,3], что подобное воздействие способно улучшать параметры р-п фотодиодов на основе кремния, сурьмянистого индия (при 70К), а также улучшать характеристики таких полупроводниковых материалов как $Hg_{1-x}Mn_xSe$, $Hg_{1-x}Mg_xTe$, $In_2Hg_3Te_6$, поликристаллического германия легированного ртутью и сурьмой, а также монокристаллического германия. Анализ полученных результатов показал [4], что при такой обработке улучшается время жизни неосновных носителей заряда.

При воздействии ГСЭМП на кремниевые р-и-п фотодиоды наблюдается уменьшение темнового тока в два- три раза на протяжении трех часов. У кремниевых лавинных фотодиодов напряжение шума у фотодиодов, которые отреагировали на воздействие, уменьшилось в два – три раза, темновой ток – до двух раз на протяжении 15 минут, после чего изменения практически прекратились. Исследования поведения германиевых фотодиодов при обработке ГСЭМП также показало, что у них наблюдается уменьшение темнового тока. При этом воздействие проводилось как в активном (при наличии электрического поля), так и в пассивном (без электрической составляющей) режимах работы генерирующего устройства ЭМПСГ. В первом случае величина тока снизилась на 49 %, а дальнейшая обработка в пассивном режиме ведет к возрастанию достигнутого значения на 5-7 %. Улучшения носят необратимый характер.

Необходимо отметить, что из партий фотоприемников, подвергнутых обработке, лишь несколько из них показали улучшение параметров. При этом наблюдается нерегулярность эффекта.

Литература

1. Ю.Г. Добровольський, А.А. Ащеулов, В.М. Годованюк патент України № 36197 А Спосіб виготовлення фотодіодів. Опубл. 16.04.2001. Бюл.№ 3.
2. А.А. Ащеулов, Ю.Г. Добровольський, В.А. Безулик. Воздействие электрического и магнитного полей на параметры полупроводниковых приборов // ТКЭА. -2000. -№1. -с. 33-35.
3. І.І. Тарасюк, Ю.Г. Добровольській, О.В. Мікітчук. Про вплив певної комбінації електричного та магнітного полів на кристалічне тіло // Науковий вісник ЧНУ. -Вип.50, Фізика, Чернівці, ЧДУ, 1999, с.65-67.
4. Ю.Г. Добровольський, А.А. Ащеулов. Аналіз темного струму фотодіодів при одночасній дії комбінації електричного та магнітного полів // Науковий вісник ЧНУ. – 1999. -Вип.50. -с.108-109.

У43 Фотодиоды на основе $\text{Cd}_{0.71}\text{Hg}_{0.29}\text{Te}$ и $\text{Cd}_{0.64}\text{Hg}_{0.36}\text{Te}$ для длин волн 1,3 и 1,55 мкм

Косяченко Л.А., Кульчинский В.В., Паранчич С.Ю., Склярчук В.М.
Черновицкий национальный университет, Черновцы, Украина
ул. Коцюбинского 2, 58012, E-mail: lakos@chv.ukrpack.net

Полупроводниковый твердый раствор $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0.2-0.3$) является важнейшим материалом инфракрасной фотоэлектроники для спектральных областей 3-5 мкм и особенно 8-14 мкм, которые соответствуют окнам прозрачности земной атмосферы. Исторически сложилось так, что составы $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с широкой запрещенной зоной $E_g > 0.4-0.5$ эВ оказались вне интересов исследователей оптоэлектронных приборов. Тем не менее, этот материал потенциально подходит для фотоприемников, работающих в «окнах» прозрачности кварцевого оптического волокна 1.3 и 1.55 мкм. Поскольку бинарные соединения HgTe и CdTe образуют непрерывный ряд твердых растворов при любом соотношении компонентов, $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с повышенным содержанием CdTe может использоваться в диапазоне более коротких длин волн, вплоть до $\lambda=0.83$ мкм, соответствующей ширине запрещенной зоны CdTe ($E_g=1.46$ эВ при 300 К).

В настоящей работе представлены результаты исследования диодных структур на основе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с содержанием Cd и спектром fotocувствительности, оптимальным для работы на длинах волн 1.55 и 1.3 мкм. Найдены параметры, играющие первостепенную роль в определении фотоэлектрических характеристик диодов – время жизни носителей, ширина области пространственного заряда, искривление энергетических зон у поверхности полупроводника, положение уровня Ферми в запрещенной зоне подложки. Показано, что доминирующим механизмом переноса заряда в исследованных диодах является генерация-рекомбинация в области пространственного заряда и только при повышенных обратных напряжениях наблюдается дополнительное возрастание тока в результате действия эффектов сильного электрического поля. Спектры fotocувствительности описываются в рамках модели, учитывающей диффузионную и дрейфовую компоненты фототока, а также поверхностную рекомбинацию.

У44 Электрические и фотоэлектрические свойства фотодиодов Au-HgInTe и ITO-HgInTe для волоконно-оптической связи

Косяченко Л.А., Герман И.И., Склярчук В.М., Раренко И.М.
Черновицкий национальный университет, Черновцы, Украина
ул. Коцюбинского 2, 58012, E-mail: lakos@chv.ukrpack.net

Работа волоконно-оптических линий связи предполагает наличие высокоэффективных быстродействующих фотоприемников. В кварцевом оптическом волокне наименьшие потери приходятся на длину волны около 1.55 мкм, поэтому кремниевые фотодиоды для этой цели не подходят, а германиевые имеют относительно большие темновые токи и требуют достаточно толстой активной области (из-за малого коэффициента поглощения). С точки зрения спектрального согласования, требованиям волоконной связи удовлетворяет твердый раствор $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Однако из-за рассогласования параметров кристаллических решеток GaAs и InAs приходится вводить P, т.е. использовать сложный четверной полупроводник $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$, а эпитаксиальные слои этого материала выращиваются на подложке из InP. С другой стороны, фотоприемник на основе соединения $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ обеспечивает практически 100% внутренний выход фотоэлектрического преобразования для 1.55 мкм спектральной области. Специфической особенностью этого материала является большая концентрация электрически нейтральных катионных вакансий, что делает его малочувствительным ко многим примесям, а также радиационно-стойким.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования и физическая интерпретация механизмов переноса заряда в Au-Hg₃In₂Te₆ и ITO-Hg₃In₂Te₆ фотодиодных структурах. Эти вопросы имеют непосредственную связь с эффективностью фотоэлектрического преобразования, темновыми токами и быстродействием прибора. Электрические характеристики Au-Hg₃In₂Te₆ диодов находят *количественное* описание в рамках модели генерации-рекомбинации в области пространственного заряда с учетом особенностей происходящих процессов в поверхностно-барьерной структуре (глубина залегания уровней 0.21-0.26 эВ, эффективное время жизни носителей 10^{-7} - 10^{-8} с). Механизмом переноса заряда, определяющим темновой ток ITO-Hg₃In₂Te₆ гетероперехода, является надбарьерное прохождение основных носителей (высота потенциального барьера на контакте со стороны ITO 0.54 эВ, изгиб зоны у поверхности Hg₃In₂Te₆ 0.31 эВ). В работе представлены также результаты исследования оптических характеристик Hg₃In₂Te₆ в широком спектральном диапазоне фундаментального поглощения и, исходя из этого, проанализированы возможности использования материала в фотодиодах для работы на длине волны 1.55 мкм.

У45 Возможность управления спектральными характеристиками алмазных фотоприемников УФ диапазона

Алтухов А.А., Киреев В.А., ¹Кирилин Н.М., ²Трищенко М.А., ¹Чекалин Н.С.,
Шустров А.В., ²Эскин Ю.М.

ООО «Уралалмазинвест», Трехгорный, Россия
¹ООО «ПТЦ «Уралалмазинвест», Москва, Россия
²ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Фотоприемники на основе монокристаллического алмаза занимают особое место среди других фотоприемников ультрафиолетового диапазона (УФ ФП). Они имеют целый ряд преимуществ перед УФ-ФП на основе Si, а также широкозонных материалов (SiC, GaN, GaAlAs) по спектральной селективности ($k=10^6-10^7$), быстродействию (5-7 нс), радиационной, химической и механической стойкости. Область собственного поглощения алмазных УФ-ФП (менее 0,23 мкм) идеально согласована с биологически опасной жесткой компонентой УФ-С излучения. Вместе с тем, для ряда приложений (например, задач обнаружения пламени, сопровождения целей) требуется чувствительность к УФ-А и УФ-В компонентам. Для этих задач целесообразно использовать примесную составляющую фоточувствительности алмаза, причем для создания работоспособных приборов и их исследования необязательно использовать операцию легирования, а можно использовать естественную примесь азота, присутствующую в любом природном кристалле алмаза в различных формах и концентрациях. Наши исследования показали, что отдельные формы азота при внешнем воздействии способны трансформироваться в электрически активную примесь. Включение в технологический маршрут изготовления УФ-ФП на основе природного алмаза II-а типа комплексной методики отбора и специальной технологической подготовки кристаллов, позволило разработать серию УФ-ФП, в которых область спектральной характеристики простиралась до длин волн 0,3-0,4 мкм и даже далее. Таким образом, впервые разработана эффективная система управления параметрами УФ-ФП за счет использования особенностей примесного состава монокристаллов алмаза, что позволяет управлять характеристиками конечного устройства и существенно расширить область его практического применения. На основе данного метода разработана модификация алмазного УФ-ФП с уникальной спектральной характеристикой: она имеет два равных выделенных пика на длинах волн $\sim 0,23$ мкм и $0,27$ мкм.

У46 Исследование пороговых характеристик фотоприемников и ФПУ на основе твердых растворов A^4B^6 в условиях низких фоновых потоков

Чишко В.Ф.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Фотодиоды на основе твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xTe$ обладают рядом свойств, делающими их перспективными для разработки низкофоновых фотоприемников: они имеют большое значение статической диэлектрической проницаемости, что обеспечивает стабильность поверхностных свойств и существенно снижает туннельные объемные и поверхностные токи, которые являются доминирующими при низких температурах. Большая концентрация собственных электрически активных дефектов ($\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$) повышает их стойкость к действию ионизирующего излучения; и, наконец, фотоприемники с собственным фотоэффектом имеют более высокую рабочую температуру. Проведены исследования темновых токов фотодиодов на основе согласованных по постоянной решетки гетероструктур $n\text{-PbSe}_{0.08}\text{Te}_{0.92}\text{-p-Pb}_{0.8}\text{Sn}_{0.2}\text{Te}$ в области температур $100 \div 10 \text{ К}$. В области температур $30\text{К} < T < 100\text{К}$ темновой ток обусловлен генерацией-рекомбинацией в ОПЗ, а при $T < 30\text{К}$ ток слабо зависит от температуры и обусловлен поверхностной туннельной генерацией. Исследованные фотодиоды при $T < 30 \text{ К}$ имели значение $D \cdot \lambda m \geq 5 \cdot 10^{12} \text{ см} \cdot \Gamma \text{ц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$. В режиме накопления на собственной емкости для лучших ФД при $T_n \geq 3 \cdot 10^{-1} \text{ с}$ получено $R_{\text{пор}} \leq 10^{-16} \text{ Вт/эл}$. Другим перспективным классом полупроводников для разработки низкофоновых фоторезисторов являются легированные индием твердые растворы $Pb_{1-x-y}Sn_xGe_yTe$. Проведены исследования фотоэлектрических и электрофизических свойств эпитаксиальных пленок, полученных методом горячей стенки на подложках BaF_2 и $\text{Si} + \text{SiO}_2$ составов $0.06 \leq x \leq 0.2$ и $0.03 \leq x \leq 0.08$, красная граница фоточувствительности которых лежит в диапазоне $10 \div 15 \text{ мкм}$. Разработаны многоэлементные линейки фоторезисторов с высокой однородностью фотоэлектрических характеристик и работающих в ВЛР-режиме при $\Phi \approx 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Рассмотрены варианты построения матричных фотоприемников и их характеристики.

У47 Чувствительность пленок $Pb_{1-x}Sn_xTe:In$ в субмиллиметровом диапазоне длин волн

¹Акимов А.Н., ¹Климов А.Э., ²Кубарев В.В., ¹Неизвестный И.Г.,
³Сусов Е.В., ¹Шумский В.Н.

¹Институт физики полупроводников РАН, Новосибирск, Россия
пр. Ак. Лаврентьева, 13, 630090, Тел: 7-(383)-230-6631. Факс: 7-(383)-233-2771
E-mail: klimov@thermo.isp.nsc.ru; shumsky@thermo.isp.nsc.ru

²Институт ядерной физики РАН, Новосибирск, Россия
пр. Ак. Лаврентьева, 11, 630090

³ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Известно, что узкозонные твердые растворы $Pb_{1-x}Sn_xTe$ (СОТ), легированные индием, обладают низкой проводимостью и высокой фоточувствительностью при гелиевых температурах. Для состава с $x=0,26$ и содержанием индия в пределах 1-3 ат. % темновые токи обычно меньше 1-10 пА/квadrat при толщине пленки около 1 мкм и напряженности электрического поля около 10-100 В/см. Для таких образцов высокая фоточувствительность наблюдалась не только в собственной полосе поглощения, но и далеко за ее пределами [1, 2].

Обсуждается модель чувствительности пленок СОТ:In, основанная на рассмотрении сегнетоэлектрических свойств пленок и экспериментальных данных, полученных при $T = 4,2$ К, с использованием как лазера с длиной волны излучения 336,8 мкм, так и лазера на свободных электронах, излучающего в диапазоне длин волн 100 – 200 мкм. Обсуждаются также вопросы, связанные с разработкой микроболлометрических линеек на основе СОТ:In.

Создание субмиллиметровых приемников возможно благодаря уникальной комбинации свойств СОТ:In: достаточно высокому коэффициенту поглощения в субмиллиметровой области, связанному с сегнетоэлектрическим переходом, сильной температурной зависимости проводимости, низким темновым токам при гелиевых температурах и разработанным технологиям эпитаксиального роста пленок на растворимых подложках типа BaF_2 , CaF_2 и даже $NaCl$.

Работа поддержана РФФИ (проект 05-02—08022 офи-п) и СО РАН (междисциплинарный проект №147).

1. D. R. Khokhlov, I. I. Ivanchik, S. N. Rains, D. M. Watson, J. L. Pipher, Appl. Phys. Lett., **76**, p. 2835-2837, 2000.

2. A. E. Klimov, V.N. Shumsky, *Proceedings SPIE*, **5126**, p. 341-346, 2003.

У48 ИК-фотопроводимость в многослойных гетероструктурах InGaAs/GaAs с квантовыми точками

Шашкин В.И., Данильцев В.М., Дроздов М.Н., Закамов В.Р.,
Лукьянов А.Ю., Молдавская Л.Д., Мурель А.В.

Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

Обсуждаются перспективы применения полупроводниковых гетероструктур с квантовыми точками (КТ) в качестве нового материала для фотоприемников ИК-диапазона. Дискретный характер энергетического спектра в КТ приводит к подавлению фононного механизма релаксации фотовозбужденных носителей тока (“phonon bottleneck effect”), возрастанию их времени жизни и снижению темновых токов, что позволяет рассчитывать на возможность создания неохлаждаемых фоточувствительных элементов. В работе анализируется современное состояние исследований в этой области, отмечается, что реализованная чувствительность ИК фотоприемников на КТ до сих пор уступает существующим фотоприемникам, а оптимальная рабочая температура лежит вблизи 100К. Основными проблемами являются малый коэффициент поглощения ИК-излучения и рост темновых токов инжекционного характера. Рассмотрены основные направления исследований, с которыми связаны надежды на улучшение параметров фотоприемников. Среди них: инженерия структур с КТ для подавления темнового тока путем включения дополнительных барьерных и туннельно-прозрачных слоев, использование техники роста “dot in well”, сверхрешетки на основе слоев КТ.

Приведены результаты собственных исследований ИК фотопроводимости в гетероструктурах InGaAs/GaAs с КТ. Многослойные структуры с селективно легированными областями КТ изготавливались методом металлоорганической газофазной эпитаксии. Характерные размеры и форма заросших КТ исследованы методом просвечивающей электронной микроскопии, энергетические уровни массивов КТ характеризовались методом фотолюминесценции. При нормальном падении излучения в спектрах продольной и вертикальной фотопроводимости наблюдалось несколько линий в среднем и дальнем ИК-диапазонах (3мкм, 5мкм и 14мкм), в зависимости от условий роста структуры имели от одной до трех спектральных линий. Предложен новый механизм продольной ИК фотопроводимости в структурах с двумерными каналами вблизи КТ, связанный с изменением подвижности электронов в двумерном канале в результате снижения кулоновского рассеяния на заряженных КТ при их фотовозбуждении и нейтрализации заряда. Выявлены режимы роста КТ, которые приводят к изменению не только их размеров, но и формы – происходит возрастание «aspect ratio» КТ (отношение высоты к латеральному размеру). В этих структурах вплоть до $T=300\text{K}$ наблюдалась продольная фотопроводимость в ближнем ИК: 1мкм - 2мкм, связанная с межзонными переходами в КТ. Изготовлена серия гетероструктур, отличающихся эквивалентной толщиной слоя InAs d^* для формирования КТ. Установлено, что при увеличении толщины d^* в два раза по сравнению с критической толщиной самоорганизации КТ длинноволновая фотолюминесценция не наблюдается даже при 77К, в то же время интенсивность внутризонной фотопроводимости на 5мкм возрастает в 30 раз при слабом уширении линии фотопроводимости. На наш взгляд, это доказывает, что при увеличении d^* нами обнаружен режим роста КТ со значительным увеличением плотности при одновременном сохранении их размеров и формы. Обсуждаются параметры полученных фотоприемников и перспективы их улучшения.

Работа поддерживалась РФФИ, проекты №№ 04-02-17180, 06-02-16519.

У49 Перспективы создания алмазных многоэлементных фотоприемников УФ диапазона

Алтухов А.А., Фещенко В.С., ¹Кирилин Н.М., ²Тришенков М.А.,
³Концевой Ю.А., ³Чернокожин В.В.

ООО «Уралалмазинвест», Трехгорный, Россия

¹*ООО «ПТЦ «Уралалмазинвест», Москва, Россия*

²*ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

³*ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия*

В последнее время большой интерес вызывают многоэлементные фотоприемники ультрафиолетового диапазона на основе алмаза Па типа. Это связано с тем, что алмаз является уникальным материалом для оптоэлектроники. Он сочетает в себе высокую дрейфовую скорость носителей с высокой оптической и радиационной прочностью, а так же рекордно высокой теплопроводностью. Все эти качества алмаза позволяют разрабатывать приборы с широким динамическим диапазоном, рекордным быстродействием и работающие в экстремальных условиях окружающей среды.

Но, не смотря на явные успехи в этой области, дальнейшее развитие алмазных многоэлементных фотоприемников сдерживают технологические проблемы. Алмаз плохо легируется. Пока, по аналогии с кремниевым технологическим процессом, удалось применить всего две – три легирующие примеси. У алмаза отсутствует природный изолирующий окисел. Кроме того, из-за большой твердости и хрупкости алмаза, существуют трудности получения достаточно тонких и больших подложек.

Все эти проблемы стимулируют поиск новых конструктивных решений для многоэлементных приборов на основе алмаза, которые в той или иной степени позволяют обходить возникающие технологические трудности.

Нами рассмотрены различные конструкции многоэлементных фотоприемников. Проведен их сравнительный анализ в целях выяснения применимости конструкций используемых в других диапазонах и на других материалах для разработки многоэлементных фотоприемников на алмазе.

Сделан вывод о перспективности подхода, предполагающего разделение процесса регистрации УФ сигнала на алмазной матрице и процесса ее опроса, накопления электрического заряда, обработки электрического сигнала на кремниевой матрице. Что позволит максимально сочетать преимущества алмаза, как регистрирующего материала с отработанной кремниевой технологией.

У50 Инфракрасные фотоприемники на основе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ для научных исследований, ИК-спектроскопии и приборостроения

Комов А.А., Курбатов А.В., Никитин М.С., Чеканова Г.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Были изготовлены и исследованы высокочувствительные фоторезисторы на основе многослойных эпитаксиальных структур, выращенных методом МЛЭ и включающих однородный поглощающий слой $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$. Детекторы, охватывающие спектральные диапазоны (3,0-5,5) мкм (средневолновый ИК-диапазон / Medium Wavelength InfraRed - MWIR), (8-14) мкм (длинноволновый ИК-диапазон / Long Wavelength InfraRed - LWIR) и (14-20 мкм) (сверхдлинноволновый ИК-диапазон / Very Long-Wave - VLWIR) и имеющие повышенные значения вольтовой чувствительности и пониженный уровень избыточного шума типа "1/f" перспективны для использования в научных исследованиях, ИК-спектроскопии и приборостроении. Детекторы имеют стандартные или заказные конструкции. Размер пикселя от 0,03 мм × 0,03 мм до 2,25 мм × 2,25 мм. Рабочая температура (77-243 К) обеспечивается заливкой жидкого азота или термоэлектрическим охлаждением. Представлены типичные фотоэлектрические параметры детекторов.

У51 Анизотропный координатно-чувствительный фотоприемник

¹Ащеулов А.А., ²Годованюк В.М., ³Добровольский Ю.Г., ⁴Фотий В.Д.

¹Институт термоэлектричества НАН, Черновцы, Украина

²ОАО «ЦКБ «Ритм», Черновцы, Украина

³НВФ «Тензор», Черновцы, Украина

⁴КТБ «Фотон», Черновцы, Украина

Создан анизотропный координатно-чувствительный фотоприемник, предназначенный для измерения распределения лучевых потоков в их поперечном сечении в определенных спектральных и энергетических диапазонах [1], которые определяются спектральной чувствительностью полупроводникового материала, из которого изготавливается фотоприемник. Прибор состоит из термостатирующего корпуса с электровыводами и анизотропного фотоэлемента в виде прямоугольной призмы длиной a , высотой b и шириной c , при этом $a = c > b$. Фотоэлемент выполнен из анизотропного материала, кристаллографические оси с минимальной и максимальной подвижностью носителей электрического заряда расположены в плоскости боковой грани $a \times b$ и ориентированы под углом $\varphi = 45^\circ$ к нижней рабочей грани $a \times c$ и находится с ней в тепловом контакте через диэлектрический слой, который отличается тем, что каждая из четырех боковых граней анизотропного термоэлемента вдоль длины a и ширины c содержит $n+1$ равномерно и симметрично расположенных через расстояния a/n и c/n n точечных, электрических микро контактов радиусом r , которые подсоединены к соответствующим электровыводам, а их общая численность N находится в пределах: $8 \leq N \leq 0.24 a/r + 4$, причем нижняя рабочая грань анизотропного фотоэлемента в некоторых случаях содержит дополнительный точечный, электрический микроконтакт, который закреплен на его геометрическому центре.

В опытном образце фотоприемника анизотропный фотоэлемент выполнялся из кристаллов на основе соединения селенид индия – селенид галлия со следующими параметрами при комнатной температуре: $\mu_{11} = 2000 \text{ В}\cdot\text{см}/\text{с}^2$, $\mu_{22} = 100 \text{ В}\cdot\text{см}/\text{с}^2$, $\sigma = 2,5(\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$ в виде пластины с $a = c = 16\text{мм}$, $b = 0.5 \text{ мм}$ и соединялись с электровыводами посредством золотого провода радиусом $r = 10 \text{ мкм}$.

Разрешающая способность фотоприемника по площади $A_I = \Delta x \cdot \Delta z$ составляла 0.25 мм^2 . Общее количество микроконтактов при этом составляло $NI = 128$. Верхняя рабочая грань фотоэлемента содержала просветляющее покрытие из сульфида цинка.

Литература.

1. Декларационный патент Украины на изобретение № 65018 Анизотропный координатный фотоэлектрический приемник. А.А. Ащеулов, В.М. Годованюк, Ю.Г. Добровольский. 2004. Заявка № 2003043873 от 25.04.2003. Оpubл. 15.03.2004. Бюл. № 3.

У52 Комплексная технология изготовления ИК-объективов

Солк С.В., Шевцов С.Е., Яковлев А.А., Нужин В.С.
ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия
тел. (81369) 21188, e-mail: solk@sbor.net

В докладе обобщён опыт НИИКИ ОЭП по изготовлению ИК линзовых, зеркальных и зеркально-линзовых объективов, работающих в областях спектра 3-5 и 8-14 мкм, согласованных с конструкцией современных матричных фотоприёмных устройств. Рассмотрен комплексный технологический процесс их изготовления и методики измерения их выходных параметров.

Определены требования к входному контролю заготовок оптических элементов (ОЭ) из непрозрачных в видимой области материалов. Проведён сравнительный анализ формообразования ОЭ алмазным микроточением (АМТ) и полированием. Рассмотрена технология центрирования металлических зеркал с асферическими рабочими поверхностями. Приведены различные варианты построения технологического процесса сборки.

Даны рекомендации оптикам расчётчикам и конструкторам ИК объективов.

У53 Определение коэффициента поглощения кристаллов оптического германия по удельному сопротивлению

*Несмелова И.М., Астафьев Н.К.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия*

Основным материалом для оптического приборостроения для областей спектра 3-5 мкм и 8-14 мкм является монокристаллический германий n-типа проводимости. За краем основной полосы коэффициент поглощения германия α имеет величину порядка $\sim 10^{-3} - 10^{-2} \text{ см}^{-1}$. Измерение такого малого поглощения связано с определёнными трудностями и неточностями. На практике при формировании требований к оптическому германию пользователи руководствуются экспериментальной зависимостью α от удельного сопротивления ρ .

Анализ работ, опубликованных по оптическому германию, свидетельствует о неоднозначности величины удельного сопротивления, при которой наблюдается наибольшая прозрачность монокристаллического германия. Возникает необходимость в изучении корреляции между ρ и α , а также в выяснении возможности определения прозрачности материала по измеренным значениям ρ .

В настоящей работе изучена связь коэффициента поглощения с удельным сопротивлением монокристаллического германия в зависимости от концентрации носителей заряда (доноров и акцепторов), степени их компенсации с учётом рассеяния носителей заряда на оптических и акустических фононах, ионизованных и нейтральных примесях, а также с учетом поглощения, обусловленного межподзонами переходами дырок в валентной зоне. Проведены оценки возможного увеличения концентрации носителей заряда в образце за счёт падающего на него интегрального электромагнитного излучения. Исследования проводились при 300 К и для длины волны 10,6 мкм. Результаты расчётов сравниваются с экспериментальными данными, измеренными на образцах германия марок ГМО и ГЭС.

Показано, что в реальных компенсированных образцах германия α монотонно уменьшается с увеличением ρ . Наибольшей прозрачностью обладают реальные кристаллы германия n-типа проводимости с концентрацией примесей $< 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и удельным сопротивлением $\rho > 30 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Для определения коэффициента поглощения германия по электрическим параметрам необходимо измеренное значение удельного сопротивления дополнить сведениями о подвижности носителей заряда, значение которого желательно иметь $> 3600 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

У54 Новые оптические материалы для ближнего ИК-диапазона на основе полупроводниковых наночастиц

¹Гурин В.С., ¹Порошков В.П., ²Юмашев К.В., ²Золотовская С.А., ³Алексеенко А.А.

¹НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск, Республика Беларусь

²НИИ оптических материалов и технологий Белорусского национального технического университета, Минск, Республика Беларусь

³Гомельский государственный технический университет, Гомель, Республика Беларусь

Разработка и исследование новых материалов, использующихся для элементов управления ходом излучения, актуальны как для совершенствования характеристик оптических приборов, так и для понимания физических механизмов взаимодействия излучения с веществом. Настоящая работа посвящена рассмотрению основных оптических характеристик одного из типов стекол [1], свойства которых определяются инкорпорированными частицами полупроводников и перспективам их применения. В отличие от более традиционных халькогенидов кадмия, использующихся для окраски стекол, представленные материалы содержат наночастицы селенида меди и производятся с помощью золь-гель технологии, позволяющей осуществлять необходимые химические трансформации инкорпорированных соединений. Оптика этих материалов определяется краем собственного поглощения полупроводника (видимая область) и интенсивными внутризонными переходами (ближняя ИК) – рис. 1. Положение полос поглощения варьируется, главным образом, стехиометрией селенида меди в наночастицах (Cu_xSe), а также размером и концентрацией частиц, в то время как кварцевая золь-гель матрица полностью прозрачна в рассматриваемой спектральной области. Предлагается два направления применения указанных материалов: (1) модуляция добротности и синхронизация мод лазеров ближнего ИК-диапазона за счет функции стекол в качестве насыщающегося поглотителя; (2) селективные оптические фильтры с минимумом пропускания при $\lambda=1.0\text{-}1.4$ мкм.

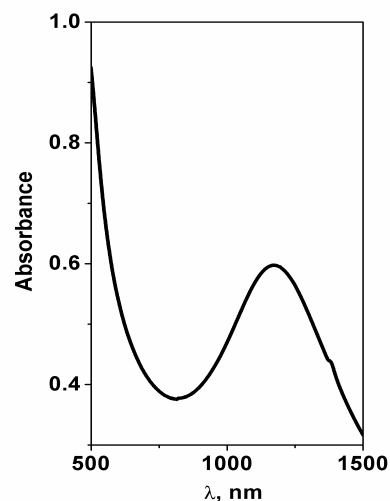


Рис. 1. Пример спектра поглощения стекла, содержащего наночастицы селенида меди

[1] Золотовская С.А., Поснов Н.Н., Прокошин П.В., Юмашев К.В., Гурин В.С., Алексеенко А.А. ФТП 38 (2004) 846-851

У55 Разработка гиперспектральной оптической среды для изделий специальной техники

Волочек М.Ф., Герасюк А.К., Гоев А.И., Горелик Б.Д., Потелов В.В., Сеник Б.Н.
ФНЦП ОАО Красногорский завод им. С.А. Зверева, Красногорск, Московская обл., Россия
ОАО «Красный гигант», Никольск, Пензенская область, Россия

Актуальной задачей сегодняшнего дня является решение ряда технических задач, связанных с расширением применения оптических систем, работающих одновременно в широких спектральных диапазонах: видимом (400 – 650 нм), ближнем ИК-диапазоне (700 – 1600 нм), в том числе на рабочих длинах волн лазерных излучателей $\lambda=1064$ нм, 1540 нм, дальнем ИК-диапазоне $\lambda=3000-14000$ нм.

Для создания вышеуказанных систем необходим синтез и промышленное освоение изготовления оптических сред, обеспечивающих функционирование синтетических систем в указанных спектральных диапазонах. В статье отражены основные этапы промышленного освоения изготовления гиперспектральной оптической среды – поликристаллического селенида цинка (ZnSe);

- определение необходимых оптических параметров для каждого спектрального диапазона на основе анализа многоспектральных оптических систем;
- выбор оптической среды и разработка технических условий на светотехнические параметры;
- особенности технологий производства поликристаллического селенида цинка: метод выращивания поликристалла из газовой фазы и метод сублимации.

Описаны практические результаты выполненных разработок.

У56 Высококачественные оптические покрытия для видимой и ближней ИК-областей спектра, созданные на базе новых плёнкообразующих материалов – титаната гадолиния и титаната лютеция

Васильева И.Ф., Герасюк А.К., Гоев А.И., Кириленко В.В., ¹Потелов В.В., Сенник Б.Н.
ФНЦП ОАО Красногорский завод им. С.А. Зверева, Красногорск, Московская обл., Россия
¹*НТЦ «Спектр» РАН и АИИ, Москва, Россия*

Функционально качественный уровень оптико-электронных приборов и комплексов во многом зависит от используемых в оптических системах просветляющих, отражающих, спектроделительных и других видов покрытий. Перспектива промышленного освоения покрытий нового поколения – градиентных оптических покрытий и толстых коррекционных слоёв, способных изменять ход лучей в оптической среде, требуют синтеза и фундаментально новых плёнкообразующих материалов. Разработанные научно – техническим центром «Спектр» РАН АИИ РФ и апробированные на предприятии ФНЦП ОАО Красногорский завод им. С.А. Зверева могут быть рекомендованы для решения вышеуказанных задач.

Оптические покрытия, изготовленные с применением цирконата гадолиния $GdTi_2O_7$ и цирконата лютеция $Lu_2Ti_2O_7$, отличаются повышенными оптическими параметрами по сравнению со стандартными, а также обладают высокой механической, лучевой и термической стойкостью.

У57 Применение технологии вакуумной асферизации для изготовления тепловизионного объектива

Герасюк А.К., Гоев А.И., Горелик Б.Д., Потелов В.В., Сенник Б.Н., Склярков С.Н.
ФНЦП ОАО Красногорский завод им. С.А. Зверева, Красногорск, Московская обл., Россия
E-mail: kmz 214@zenit-foto.ru.

В настоящее время все большее применение находят оптико-электронные системы (ОЭС) всеуточного видеонаблюдения, в интересах гражданского населения и различных силовых ведомств. Для функционирования вышеуказанных систем в ИК-диапазоне, используются тепловизионные объективы.

На предприятии ФНЦП "ОАО Красногорский завод им. С.А. Зверева", в рамках выполнения коммерческого заказа, выполнены работы по расчету двухлинзовый оптической системы, разработке технологии и изготовлению тепловизионного объектива со следующими выходными параметрами:

1. Фокусное расстояние $f=50$ мм.
2. Относительное отверстие 1:1,1.
3. Линейное поле в пространстве изображений $2y=9,4$ мм.
4. Коэффициент пропускания τ для участка спектра $8\div 12,5$ мкм не менее 0,88.

Прототипом для создания объектива является трехлинзовый объектив с аналогичными оптическими выходными параметрами.

Принципиально важным вопросом успешного продвижения изделий на внутреннем и внешнем рынках, наряду с высокими техническими характеристиками и надежностью, является низкая себестоимость. Себестоимость изготовления тепловизионных объективов в основном определяется стоимостью заготовок оптических элементов и трудоемкостью их изготовления.

В результате расчета и оптимизации оптической схемы создан двухлинзовый объектив с асферической вогнутой поверхностью на первой линзе. Высокое качество объектива обеспечивалось жесткими допусками на геометрические параметры, в том числе, на соответствие фактических параметров асферической поверхности, расчетным параметрам (в т.ч. на точность формы по углу отклонения нормалей $\alpha \leq 10''$).

Для изготовления асферической детали, с целью обеспечения столь жестких допусков, использовалась технология вакуумной асферизации. Одним из основных преимуществ данной технологии, наряду с гарантированным обеспечением высокой точности оптических асферических элементов, является высокая производительность изготовления асферической поверхности, и высокая степень управляемости технологическими факторами и независимость от внешних климатических условий.

У58 Исследование технологических факторов, влияющих на качество тонких плёнок диоксида кремния (SiO₂), с целью повышения эксплуатационных характеристик оптических сборок, изготовленных методом глубокого оптического контакта

Герасюк А.К., Гоев А.И., Гринберг Е.Е., Потелов В.В., Сеник Б.Н.

ФНЦП ОАО Красногорский завод им. С.А. Зверева, Красногорск, Московская обл., Россия

Проблема создания оптико-электронных систем для изделий с высокой пространственной ориентацией во многом зависит от успешного решения конструкторских и технологических задач, связанных с изготовлением и применением высокоточных оптических призмных узлов и спектроделительных модулей.

Важнейшим требованием к вышеуказанным оптическим сборкам является требование сохранности оптотехнических параметров после механических, тепловых и климатических воздействий в процессе эксплуатации.

Статья посвящена проблемам повышения надёжности прецизионных оптическихборок, изготовленных методом глубокого оптического контакта (ГОК), а именно повышения качества тонких плёнок диоксида кремния (SiO₂), как основного технологического фактора данной технологии.

Типовые конструкторско-технологические параметры высокоточных спектроделительных модулей, изготовленных методом ГОКа, прилагаются.

У59 Применение новых плёнообразующих материалов цирконата гадолиния и цирконата лютеция для получения высококачественных оптических покрытий

Васильева И.Ф., Герасюк А.К., Гоев А.И., Кириленко В.В., ¹Потелов В.В., Сеник Б.Н.
ФНЦП ОАО Красногорский завод им. С.А. Зверева, Красногорск, Московская обл., Россия
¹*НТЦ «Спектр» РАН и АИН, Москва, Россия*

Развитие техники тонкоплёночных покрытий, широко применяемых в оптическом приборостроении, микроэлектронике, системах многоканальной связи, требует постоянного расширения гаммы используемых плёнообразующих материалов с различными физическими свойствами. С этой целью разработаны и созданы качественно новые плёнообразующие материалы на основе сложных диоксидов гадолиния и лютеция:

(цирконат гадолиния $Gd_2Zr_2O_7$

цирконат лютеция $Lu_2Zr_2O_7$)

Главным прогнозируемым качеством новых сложно-оксидных композиционных материалов отмечено повышенная (по сравнению со стандартным ZrO_2) лазерная прочность покрытий. С целью проверки этого прогноза изготовлены просветляющие и светоделительные лазерные покрытия из материалов $Gd_2Zr_2O_7$ и $Lu_2Zr_2O_7$ и SiO_2 .

По результатам проведённых работ следует отметить, что разработанные и созданные

научно-технологическим центром «Спектр» РАН и АИН РФ, новые плёнообразующие материалы цирконат гадолиния $Gd_2Zr_2O_7$, цирконат лютеция $Lu_2Zr_2O_7$ полностью отвечают требованиям современных высоких технологий.

Исследования и апробирование новых материалов, проведённые предприятием ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» показали, что оптические плёнки, полученные из $Gd_2Zr_2O_7$, $Lu_2Zr_2O_7$, обладают высокой прозрачностью в широком спектральном интервале, значительным диапазоном показателя преломления, высокой коррозионной и механической стойкостью, повышенной адгезией к рабочей поверхности, стабильностью свойств, улучшенными эксплуатационными характеристиками и увеличенным запасом лучевой прочности для мощных лазерных систем, работающих в ближнем инфракрасном диапазоне спектра.

Сложнооксидные материалы - цирконат гадолиния, цирконат лютеция – и покрытия на их основе могут занимать одно из ведущих мест среди веществ используемых в тонкоплёночных технологии, особенно для приборов силовой оптики, работающих в условиях жёсткого лазерного излучения.

У60 Сравнение вариантов сканирования в тепловизорах II-го поколения

Алеев Р.М., Насибуллин Р.А.
ЗАО «НПФ «ОПТООЙЛ», Казань, Россия

Сравниваются два варианта сканирования в тепловизорах (ТВП) II-го поколения: «пилообразный» закон изменения углового положения сканирующего зеркала (СЗ) во времени и «треугольный». Рассмотрены особенности технической реализации получения тепловизионного изображения в двух вариантах сканирования. Выявлены параметры сканирующего движения, наиболее существенно влияющие на тепловизионное изображение. Проведён математический анализ влияния вариантов сканирования на изображение.

По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Мощность, потребляемая сканирующим устройством при реализации «пилообразного» закона движения СЗ в 2-4 раза больше чем при реализации «треугольного» закона сканирования.

2. Наличие неравномерности скорости движения СЗ, в варианте сканирования «треугольником», приводит к смещению строк в изображении при наличии межстрочной развёртки, что проявляется в «зубчатости» изображения и снижает параметры эффективности ТВП. При сканировании «пилой» неравномерность сканирования не приводит к «зубчатости» тепловизионного изображения.

3. При отсутствии межстрочной развёртки, изображение, получаемое сканированием «треугольником», из-за наличия неравномерности скорости движения СЗ, будет дwoящимся и мелькающим с частотой в 2 раза ниже частоты следования кадров. При тех же условиях, сканирование «пилой» не приводит к мельканию изображения.

4. Наличие синхронизации считывания сигналов из фотоприёмного устройства, с привязкой к пространству объектов, значительно уменьшает смещение строк и мельканий в изображении, получаемом сканированием «треугольником». Те же условия, в варианте сканирования «пилой», обеспечивают равномерность качества изображения во всём поле зрения.

По результатам анализа сделан вывод о том что, качество изображения, полученное сканером, реализующим «пилообразный» закон сканирования, при тех же вариантах синхронизации субматричного фотоприёмного устройства, будет лучше, чем при реализации сканирования «треугольником».

У61 Метод автоматизированной проверки минимальной разрешаемой разности температур, обеспечиваемой тепловизионным прибором

Солодков А.А., Милосердов С.С.

ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ», Мытищи, Россия

Одной из важнейших характеристик тепловизионного прибора (ТВП) является зависимость минимально разрешаемой оператором-наблюдателем разности температур (МРРТ) между элементами специализированных (периодических) тест-объектов (тепловых мир) от пространственной частоты этих тест-объектов при наблюдении их изображений на экране средства отображения информации. Данная характеристика является вероятностной, так как предполагает использование зрительного анализатора оператора-наблюдателя.

Операторный метод является традиционным, типовым и наиболее универсальным для оценки МРРТ, однако он является затратным по ресурсам и объемным по времени и количеству требуемых психофизиологических экспериментов с операторами-наблюдателями, что ограничивает его применение для получения в необходимых случаях оперативных оценок с требуемой степенью достоверности.

Разработанный метод позволяет в автоматизированном режиме, т.е. без участия наблюдателя-оператора в принятии решений о распознавании штриховых мир разной пространственной частоты и контраста, определять обеспечиваемую ТВП МРРТ.

В основу метода положена реализованная на базе ПЭВМ процедура статистического оценивания последовательности видеоизображений тест-объекта с помощью алгоритма, обеспечивающего минимум среднеквадратического риска (применительно к видеоизображениям определяется как алгоритм оптимального линейного приемника Зигерта-Котельникова). Решения, получаемые с использованием указанного алгоритма, при достаточно большом объеме статистических данных (около 500 кадров) адекватны решениям наблюдателей-операторов, что позволяет свести процесс определения МРРТ к инструментальным измерениям.

У62 Критерий целесообразности использования в несканирующих тепловизионных приборах микросканирования

Овсянников В.А. Филиппов В.Л.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

Четырехпозиционное микросканирование – разложение тепловизионного кадра на четыре подкадра, в которых изображение сдвигается относительно матричного фотоприемного устройства (ФПУ) на полпериода его структуры сначала, например, вправо, затем вниз, влево и вверх, т. е. в исходное положение - используется в несканирующих тепловизионных приборах (ТВП) с целью улучшения их углового разрешения и уменьшения заметности искажений изображения сцены, обусловленных выборкой. Однако при этом из-за сокращения времени накопления зарядов в ФПУ обычно возрастает разность температур, эквивалентная шуму, что, напротив, снижает эффективность ТВП.

Поэтому в работе для различных значений коэффициента заполнения ФПУ α рассчитаны зависимости $m=f(\alpha)$ минимального значения отношения сигнал/шум m от отношения α диаметра кружка рассеяния объектива к размеру элемента ФПУ, при котором использование микросканирования уже начинает уменьшать разрешение на местности ТВП (полупериод разрешаемой эквивалентной миры) и, значит, повышать вероятность обнаружения или распознавания объектов местности. Найдено, что с увеличением α и α минимальное значение m увеличивается. (В частности, для типовых значений $\alpha=2,5$ и $\alpha=0,75$ имеем $m=4$, а при $\alpha=1$ и том же α $m=9$). Именно превышение значения m и является критерием целесообразности использования в таких ТВП микросканирования.

У63 Простой показатель эффективности тепловизионных приборов в динамическом режиме работы

Овсянников В.А., Филиппов В.Л.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

В настоящее время эффективность тепловизионных приборов (ТВП) в динамическом режиме работы (с учетом поиска объектов за ограниченное время) характеризуется совокупностью дальности действия ТВП D и поля зрения прибора по строке и кадру $2\beta_c$ х $2\beta_k$, что не позволяет получать однозначную оценку его возможностей по вскрытию (обнаружению или распознаванию) объектов. Поэтому представляется целесообразным использование интегрального показателя эффективности ТВП в данном режиме - объема пространства, - в котором обеспечивается одновременное наблюдение объектов с возможностью их вскрытия с вероятностью не ниже заданной:

$$V = (2\beta_c \times 2\beta_k) \left(\frac{D^3}{3} \right)$$

или же любой монотонной функции от него, например,

$$V^* = (3V)^{1/3} = (2\beta_c \times 2\beta_k)^{1/3} \cdot D.$$

Предлагаемый показатель имеет следующие достоинства:

- зависит от параметров объекта, ТВП, условий его применения и наблюдения изображения;
- весьма прост в использовании и имеет ясный физический смысл;
- позволяет производить оценку и сравнение эффективности не только ТВП, но и приборов других типов;
- при переходе к статическому режиму работы, как частному случаю динамического, сводится к общепринятому показателю эффективности ТВП в этом режиме – его дальности действия D .

Для обеспечения возможности практической оценки V или V^* в работе изложена методика расчета дальности действия ТВП, работающих в диапазоне спектра 3-5 или 8-14 мкм.

У64 Методика имитационного компьютерного моделирования оптико-электронных приборов наблюдения

Попов Г.Н., Малинин В.В.

Центральное конструкторское бюро точного приборостроения, Новосибирск, Россия

С целью оценки качества оптико-электронных приборов (ОЭП) наблюдения предлагается методика имитационного компьютерного моделирования на примере приборов ночного видения. Рассмотрены следующие вопросы: выбор критериев оценки качества; выбор совокупности внешних условий работы; разработка структуры вычислительной модели и обобщенного алгоритма имитационного моделирования; разработка базовых алгоритмов моделирования.

У65 Метод коррекции неоднородности многоэлементных фотоприемных устройств по сигналам сцены

Болтарь К.О., Бурлаков И.Л., Жегалов С.И., Сагинов Л.Д., Свиридов А.Н., Соляков В.Н.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассматривается метод коррекции неоднородности чувствительности многоэлементных фотоприемных устройств без использования опорных источников однородного излучения. Предлагаемый метод решает актуальную для оптико-электронных систем инфракрасного диапазона спектра задачу устранения неоднородности сигналов из-за различий чувствительности отдельных элементов фотоприемных устройств (ФПУ) к входному потоку излучения.

Для определения корректирующих коэффициентов используются сигналы сцены, по которым для каждого элемента определяется пара корректирующих коэффициентов по смещению и чувствительности. Процесс коррекции состоит в периодически выполняемой процедуре определения корректирующих коэффициентов и непрерывно выполняемой процедуре корректирования сигналов.

В основу метода положена идея, заключающаяся в том, что при сканировании изображения в случае многорядных ФПУ или при движении объектов сцены в случае матричных ФПУ, одни и те же элементы сцены последовательно регистрируются соседними фоточувствительными элементами. По параметрической зависимости сигналов соседних элементов при последовательной регистрации элементов сцены с различной интенсивностью излучения можно определить относительные сдвиги уровней и относительную чувствительность соседних фоточувствительных элементов. Применяя рекуррентные соотношения, можно определить корректирующие неоднородность коэффициенты для всех элементов ФПУ. Рассмотрены способы технической реализации метода и получены расчетные выражения для определения корректирующих коэффициентов.

Проанализированы факторы, определяющие точность метода в зависимости от сцены, которые определяют его применимость, как для матричных, так и для многорядных ФПУ со сканированием. Показано, что уровень межэлементных связей элементов определяется соотношением изменчивости попадающих на элементы потоков, корреляций потоков на элементах и шумов элементов. Предельную точность метода определяет обусловленная сценой и шумом погрешность,

$$S_i^k(t) = S_i(t) \cdot A_i^k + B_i^k = P_i(t) \cdot A_1 + B_1 + \delta(i,t),$$

Погрешность $\delta(i,t) = A_1 \cdot [\bar{P}_1(\tau) - \bar{P}_i(\tau)] - [P_i(t) - \bar{P}_i(\tau)] \cdot A_1 \cdot (\sigma_1 - \sigma_i) / \sigma_1 + SH_i(t) \cdot \sigma_1 / \sigma_i$,

где $S_i^k(t)$ - скорректированный сигнал i -го элемента ФПУ; $t = \tau + 1, \tau + 2, \dots$; τ - момент начала коррекции; $S_i(t)$ - сигнал до коррекции; A_i^k и B_i^k - корректирующие коэффициенты; $P_i(t)$ - поток на i -м элементе; A_1 и B_1 - усиление и смещение базового элемента; $\bar{P}_1(\tau)$ и $\bar{P}_i(\tau)$ и σ_1 и σ_i - средние потоки и их средние отклонения на базовом и i -м элементах, определенные к моменту τ ; $SH_i(t)$ - шум элемента. Условия точного корректирования обеспечит межэлементное равенство средних потоков и средних отклонений сцены.

**У66 Комплексный подход к разработке современной технологии
многощелочного фотокатода (S-25) в камерах
сверхвысокого вакуума (СВВ)**

Локтионов В.И., Нестеров И.А., Черкашин А.Е.
ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

На основе разработанной в ОАО «Катод» научно обоснованной концепции индивидуально-групповой технологии изготовления фотокатода S-25 в сверхвысоковакуумных камерах установки финишной обработки ЭОП, определены необходимые условия стабильного получения высокой чувствительности фотокатодов.

Во-первых, для обеспечения высокого уровня повторяемости технологии изготовления фотокатода, потребовалось решить задачи исключения влияния подложки на формируемый фотокатод. Для чего разработаны способы блокировки поверхности стеклянной подложки и надежной изоляции поверхности стеклянной подложки от формируемого фотокатода. Рассмотрены пути реализации технологии комплексного применения защитных слоев и просветляющих покрытий.

Вторым важным аспектом решаемой проблемы, стал выбор методов напыления или транспортировки паров Sb, K и Na на стеклянную подложку.

Из всех существующих методов распыления вещества, выбран метод напыления из эффузионных источников, применяемый в молекулярно лучевой эпитаксии, так как только данный метод наиболее подходит к предъявленным требованиям по управляемости, стабильности потоков паров веществ, возможности контролируемого напыления максимально тонких слоев, в условиях сверхвысокого вакуума ($1 \cdot 10^{-10}$ торр), а также обеспечивает длительный период работы источника напыляемого вещества до его перезарядки (6÷12 месяцев) и максимальную чистоту используемых веществ.

Использование двух предлагаемых решений, позволило получить стабильную величину интегральной чувствительности на уровне 700 $\mu\text{A}/\text{лм}$, при разбросе значений не превышающих 5%, практически на любой стеклянной подложке из стекла любой марки.

У67 Разработка InGaP-фотокатода для электронно-оптических преобразователей

Беспалко Н.И. Сахно В.И. Долгих А.В.

ОАО «КАТОД» Новосибирск, Россия

Авторы представляют разработку InGaP-фотокатода для электронно-оптических преобразователей (ЭОП) работающих в видимом диапазоне спектра.

Интересной особенностью соединения InGaP является возможность получения твердого раствора, согласованного по параметру решетки с GaAs и имеющего поглощение излучения в видимом диапазоне спектра. Согласование постоянной решетки с подложкой позволяет получать высококачественные монокристаллические слои без образования дислокаций несоответствия.

InGaP-фотокатод является фотоэмиттером с отрицательным электронным сродством (ОЭС). Большая ширина запрещенной зоны InGaP, по сравнению с GaAs, потенциально дает возможность получить более высокую вероятность выхода электронов при достижении состояния ОЭС.

Гетероэпитаксиальные структуры (ГЭС) для фотокатодов выращивались методом МОС-гидридной эпитаксии. Качество и состав слоев ГЭС контролировались по спектрам фотолюминесценции при комнатной температуре.

В результате проведенных работ были оптимизированы технологические и конструктивные параметры InGaP-фотокатода: марка стекла для входного окна, составы слоев ГЭС, толщина активного слоя, способ обработки поверхности. Качество подготовки поверхности фотокатода перед активировкой (обработкой цезием и кислородом) оценивалось с помощью метода дифракции быстрых электронов.

Герметизированные в ЭОП образцы фотокатодов имели интегральную чувствительность $S = 300$ мкА/лм и квантовую эффективность на длине волны 560 нм – $QE = 30\%$.

В заключении намечены пути дальнейшего усовершенствования InGaP-фотокатода.

У68 Автоматизированный стенд для измерения параметров электронно-оптических преобразователей

Бакин В.В., Шайблер Г.Э., Ярошевич А.С., Кравченко А.А., Терехов А.С.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: terek@thermo.isp.nsc.ru

Создан универсальный стенд, позволяющий измерять около 40 параметров электронно-оптических преобразователей 2⁺÷4 поколений. Внешний вид стенда показан на рисунке. Стенд имеет модульную конструкцию. Оптические и электронные модули стенда размещены на единой термостабилизированной металлической платформе (1) и защищены от внешнего света кожухом (2). Установка ЭОП производится через люк (3), расположенные на верхней поверхности кожуха. Оптические модули стенда (источники света, объективы, цифровая ПЗС-телекамера типа S1C с ПЗС-матрицей формата 1225×1300) установлены на двух независимых 2-х координатных платформах,



оборудованных шаговыми двигателями и фотоэлектрическими датчиками перемещений.

Ошибки позиционирования оптических модулей не превышают 0.3 мкм. Для управления платформами, оптическими и электронными модулями стенда используется ПЭВМ (4). Для обеспечения стабильности интенсивности, спектрального состава и пространственной однородности светового пучка, падающего на фотокатод, в стенде использован мультиспектральный светодиодный

осветитель, излучающий на 11 длинах волн в диапазоне 450÷1060 нм. Стабильность квантовой эффективности и шумовых характеристик цифровой ПЗС-телекамеры обеспечивается её термостабилизацией при температуре -30°C. Диапазон линейности ПЗС-камеры при этой температуре равен 10⁴.

Измерение параметров ЭОП производится следующим образом. Управляющая стендом программа отображает на экране монитора перечень методик измерения и предлагает оператору выбрать ту из них, которая предназначена для измерения требуемого параметра. После запуска выбранной методики управляющая программа устанавливает в рабочие положения оптико-механические модули стенда, необходимые для реализации данной методики, выставляет выбранные оператором рабочие напряжения на электродах ЭОП, проводит оптические и электрические измерения. По результатам измерений оформляется протокол, в котором указываются рассчитанные значения параметров, условия проведения измерений и другая служебная информация.

Обсуждаются новые подходы к измерению некоторых параметров ЭОП, таких как предел разрешения, ореол и др., а также проблемы метрологической аттестации стенда.

У69 Влияние электронно-лучевой обработки на параметры фотоэмитирующих структур и фактор шума МКП

Авдеев С.П., Кравченко А.А., Гусев Е.Ю.

Таганрогский государственный радиотехнический университет, Таганрог, Россия

В работе представлены результаты исследований по влиянию электронно-лучевого воздействия на параметры и характеристики многощелочных и бищелочных фотокатодов (ФК) вакуумных фотоэлектронных приборов и электронно-лучевой модификации каналов усиления микроканального пространственного усилителя (МКП) электронно-оптического преобразователя.

В ходе выполнения работы удалось установить существенное влияние микрорельефа и химической структуры фотокатода (ФК) на его эффективность. Обработывались катодные колбы (ФК типа Na—K—Sb—Cs) с технологической металлизацией. Результаты такой обработки показали следующее: средняя величина чувствительности увеличивается на 15 - 20%; в 2 – 3 раза увеличивается количество приборов с предельной величиной чувствительности; увеличивается количество приборов с повышенной чувствительностью в ИК-области спектра; максимум спектральной характеристики чувствительности (для ФК типа K₂—Sb—Cs) сдвигается в синюю область.

В электронно-оптическом преобразователе МКП определяет такие параметры прибора как усиление, разрешение и шум. Проблема собственных шумов МКП остро сказывается в приборах ночного видения, усилителях слабого сигнала и др. подобных приборах.

Динамический шум МКП зависит от дисперсии коэффициента усиления, величины коэффициента вторичной электронной эмиссии первого удара и эффективной площади каналов.

Электронно-лучевая обработка (ЭЛО) МКП позволило изменить микрогеометрию входной поверхности пластины и элементный состав поверхностного слоя, тем самым повысить коэффициент вторичной электронной эмиссии первого удара, это привело к снижению фактора шума, одного из важных параметров МКП и электронно-оптического прибора в целом. Установлено, что фактор шума МКП, подвергнутых ЭЛО до операции восстановления МКП, снижается в 1,5—2,0 раза, одновременно незначительно растет коэффициент усиления.

У70 Фотоэлектрические характеристики твердотельного электронного умножителя на основе гейгеровских микроячеек

Георгиевская Е.А., Клемин С.Н., Филатов Л.А., ¹Бужан П.Ж., ¹Долгошеин Б.А.,
¹Ильин А.Л., ¹Попова Е.В.

ГУП НПП «Пульсар», Москва, Россия

*¹Московский государственный инженерно-физический институт
(технический университет), Москва, Россия*

Представлены новые результаты исследований фотодетектора -кремниевого фотоэлектронного умножителя (SiФЭУ). SiФЭУ - прибор нового типа для детектирования вспышек света слабой интенсивности (на уровне одиночных фотонов) и длительностью порядка единиц наносекунд. Показано, что SiФЭУ может стать прибором широкого применения благодаря таким качествам, как высокое внутреннее усиление порядка 10^6 , невысокая чувствительность коэффициента усиления к изменению температуры и напряжения питания, эффективности регистрации видимого света на уровне вакуумных ФЭУ, возможности регистрации наносекундных вспышек света без искажения формы детектируемого импульса, возможности работы, как в режиме счета импульсов, так и в спектрометрическом режиме, временное разрешение (десятки пикосекунд), невысокое напряжение питания (25-60 В). Исследовано несколько различных модификаций детектора.

У71 Влияние характеристик промежутка МКП экран на формирование изображения ЭОП

Беркин А.Б., Васильев В.В., Данилов В.Г.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Формирование электронного изображения на экране ЭОП происходит в бипланарной электронно-оптической системе (ЭОС) между микроканальной пластиной (МКП) и экраном. Изображение на экране дискретно. Минимальный размер элемента изображения соответствует диаметру канала МКП. Разрешение и контраст изображения на экране определяются распределением электронов в проекции канала на экране, которое в свою очередь зависит от параметров ЭОС.

В работе представлены результаты расчетов ЭОС для современных приборов с диаметром канала МКП 5-10 мкм и расстоянием МКП-экран 300-800 мкм.

Расчет поля и траекторий электронов осуществлялся путем решения уравнений Лапласа для системы заданных точечных зарядов, определяющих конфигурацию электродов, и уравнений движения электрона в стационарном поле. На выходе МКП учитывались электронные линзы, оптическая сила которых определяется глубиной металлизации на выходе канала и соотношением напряженности электрического поля в канале и на выходе МКП. Распределения электронов по координате, углу вылета и энергии на выходе МКП получены на основе шаговой модели усиления с использованием метода Монте-Карло.

Исходными данными для задачи являются: геометрические размеры промежутка, глубина металлизации МКП, напряжения на МКП и на экране ЭОП.

Исследовано влияние геометрии прибора и рабочих напряжений ЭОС на частотно-контрастную характеристику, разрешение и яркость электронного изображения на экране ЭОП. Показано, что при определенных условиях зависимость разрешения и контрастности от параметров задачи носит экстремальный характер, что не наблюдалось приборов с большими геометрическими размерами.

Полученные результаты важны для корректного выбора режимов испытания приборов и задания оптимальных рабочих напряжений для достижения максимальных значений параметров в процессе эксплуатации.

У72 Испытания на безотказность многорядных и матричных фотоприемников на основе фотодиодов из КРТ

Бурлаков И.Д., Болтарь К.О., ¹Дегтярев Е.В., Козлачков А.А., Патрашин А.И.,
Сагинов Л.Д., ¹Сычев А.С., ¹Солодков А.А., Яковлева Н.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹ ФГУП «22 ЦНИИ МО», Мытищи, Московская обл., Россия

Приведены результаты испытаний на безотказность модулей многорядных и матричных фотоприемных устройств (МФПУ) формата 4x288 и 384x288 элементов ФУК5М и ФУК6М, спектрального диапазона 8-12 мкм. Охлаждающий узел МФПУ, представляющий собой матрицу фотодиодов в эпитаксиальных слоях твердого раствора кадмий-ртуть-теллур р-типа проводимости, состыкованную посредством индиевых контактов с кремниевой большой интегральной схемой считывания и усиления фотосигнала размещается в криостатируемом корпусе. Охлаждение МФПУ осуществляется с помощью микрокриогенной системы (МКС) МСМГ-3В-1/80, работающей по циклу Стирлинга.

В соответствии с разработанной методикой ускоренные испытания на безотказность каждого типа МФПУ проводились на трех образцах, при этом образцы работали в разных режимах. Первый образец работал в типовом режиме эксплуатации, включающем повторяющиеся циклы непрерывной работы в течение 10 часов и 30-ти минутное выключение электропитания МФПУ и МКС. Второй образец МФПУ, работал в форсированном режиме включение-выключение с периодичностью 30 минут. Третий образец МФПУ работал в форсированном режиме при попеременном воздействии синусоидальной вибрации и многократных ударов.

В процессе испытания образцов периодически измерялся параметр-критерий годности (ПКГ) – среднее значение удельной обнаружительной способности (D^*) для МФПУ ФУК5М и пороговой облученности для МФПУ ФУК6М.

По результатам испытаний оценены интенсивности отказов образцов в трех режимах эксплуатации и средняя наработка на отказ, которая для обоих МФПУ в типовом режиме эксплуатации превышает 14000 часов. Интенсивности отказов в форсированных режимах в десятки раз выше, чем в типовом режиме эксплуатации. Сделаны предположения о механизмах увеличения интенсивности отказов в форсированных режимах.

У73 Влияние лазерного излучения на функционирование матричного фотоприемника на основе CdHgTe

¹Бурлаков И.Д., ¹Болтарь К.О., Сахаров М.В., Средин В.Г., ¹Стафеев В.И., Суховой С.Б.
ВА РВСН им. Петра Великого, Москва, Россия
¹ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Приведены результаты исследований воздействия импульсного лазерного излучения длительностью импульса $\tau_i=5-100$ мс и длиной волны $\lambda=10,6$ мкм на функционирование матричного фотоприемного устройства (МФПУ) формата 128x128 элементов. МФПУ изготовлено из твердого раствора $Cd_{0,22}Hg_{0,78}Te$, выращенного методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на подложке $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$. Кремниевая БИС считывания сигнала расположена в фокальной плоскости МФПУ и осуществляет построчное накопление и считывание сигналов фоточувствительных элементов.

Освещение чувствительных элементов МФПУ производилось со стороны подложки. Излучение фокусировалось линзой из ZnSe, закрепленной на оптическом столе с тремя степенями свободы. Сечение пучка составляло $\sim 1\%$ от общей площади матрицы фоточувствительных элементов. Регулирование интенсивности излучения осуществлялось с помощью нейтральных ослабителей.

При облучении части МФПУ излучением с интенсивностью от 10 Вт/см^2 наблюдалось безинерционное подавление фоточувствительности всех элементов матрицы, элементы которой подключены к накопительным конденсаторам БИС считывания сигнала во время действия импульса лазерного излучения.

При увеличении интенсивности до 10^4 Вт/см^2 наблюдалось инерционное подавление фоточувствительности МФПУ с нарастанием времени релаксации до нескольких секунд при интенсивности $4 \cdot 10^4 \text{ Вт/см}^2$ и длительности импульса 100 мс. Обнаруженный эффект, по-видимому, носит термический характер.

У74 Определение времени жизни основных и неосновных носителей заряда в HgCdTe р-типа методом фотопроводимости в магнитном поле

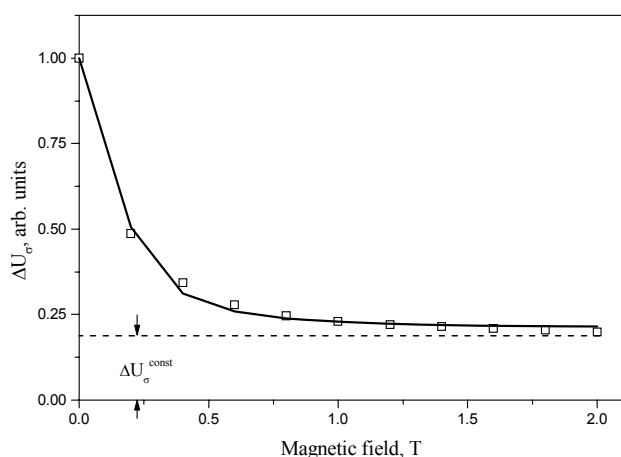
¹Протасов Д.Ю., ²Костюченко В.Я., ²Крылов В.С., ¹Овсюк В.Н.

¹Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

²Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск, Россия

Как известно, при рекомбинации Шокли-Рида, которая является доминирующей в HgCdTe р-типа при низких температурах, времена жизни неосновных и основных носителей заряда различаются. В этом случае измеренное значение времени жизни неосновных электронов зависит от способа его измерения.

В данной работе предложен метод измерения отношения времен жизни основных и неосновных носителей заряда в HgCdTe р-типа, основанный на измерении



Магнитофотопроводимость для образца HgCdTe при температуре 77 К. □ - экспериментальные точки, сплошная линия – теория.

фотопроводимости в магнитном поле в геометрии

Фарадея (магнитофотопроводимости, МФП). В работе [1] было показано, что МФП состоит из двух составляющих – $\Delta U_{\sigma}(B) = \Delta U_{\sigma}^{-}(B) + \Delta U_{\sigma}^{const}$, и на основе анализа переменной $\Delta U_{\sigma}^{-}(B)$ составляющей был предложен метод определения подвижности неосновных электронов.

Причина появления постоянной составляющей $\Delta U_{\sigma}^{-}(B)$ МФП заключается в том, что при наличии большого числа глубоких центров концентрация неравновесных дырок превышает концентрацию неравновесных электронов: $\Delta p > \Delta n$. Поэтому, несмотря на низкую подвижность ($\mu_e/\mu_p = 100$), тяжелые дырки дают заметный вклад в МФП. Так как используемое в эксперименте магнитное поле является слабым для тяжелых дырок ($\mu_p B \ll 1$), то этот вклад остается постоянным.

Отношение времен жизни основных и неосновных носителей определяется с помощью соотношения:

$$\frac{\tau_p}{\tau_n} = \frac{\mu_n}{\mu_p} \cdot \frac{1}{\Delta U_{\sigma}(0)/\Delta U_{\sigma}(2) - 1} + 1$$

где $\Delta U_{\sigma}(0)$ и $\Delta U_{\sigma}(B)$ - значения сигнала фотопроводимости при $B=0$ и $B=2$ Тл, соответственно.

1. В.С. Варавин, С.А. Дворецкий, В.Я. Костюченко, В.Н. Овсюк, Д.Ю. Протасов. Подвижность неосновных носителей заряда в пленках р-HgCdTe. ФТП, 2004, т.38, вып. 5, С.532-537

У75 Исследование вольт-фарадных характеристик МДП-структур на основе HgCdTe

Ярцев А.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Слои теллурида кадмия ртути (КРТ), полученные методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложке *GaAs*, относятся к перспективным материалам для изготовления многоэлементных приёмных устройств ИК излучения в диапазонах 3-5 мкм и 8-12 мкм.

В данной работе исследована приповерхностная область р- и n-КРТ при наличии варизонного слоя и без него с помощью вольт-фарадных характеристик (ВФХ) МДП-структур Al-SiO₂-HgCdTe. Толщина диэлектрического слоя составляет 100 нм. ВФХ измерялись на частоте 100 кГц в диапазоне поверхностных потенциалов -5 В...+5 В, что обеспечивает изучение ВФХ во всех 3-х режимах ОПЗ: обогащении, обеднении и инверсии.

Установлено, что плотность состояний для образцов р-типа проводимости не зависит от наличия варизонного слоя и составляет $N_t = 1.3...2.3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$. Для образцов n-типа проводимости $N_t = 4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ и так же не зависит от наличия или отсутствия варизонного слоя.

Время перезарядки поверхностных состояний не зависит от типа проводимости и составляет $\tau = 2 \text{ мкс}$ для образцов со стравленным варизонным слоем и $\tau = 0.1 \text{ мкс}$ для образцов с варизонным слоем. Показано, что в случае неравновесного обеднения генерация носителей осуществляется через глубокие центры. Другие же механизмы генерации подавляются. Время генерации для образцов с варизонным слоем меньше вследствие высокой дефектности слоя.

В режиме инверсии для р-КРТ или в режиме обогащения для n-КРТ найден эффект влияния ёмкости двумерных электронов на общую ёмкость структуры. Проведено моделирование процесса с полным совпадением с экспериментальными данными с помощью только одного подгоночного параметра – эффективной массы электрона. Найдено, что $m_e^* = 0.008 m_0$, что хорошо согласуется с табличными данными.

У76 Методы создания системы металлизации с индиевыми микроконтактами для кремниевых матричных МОП-мультиплексоров

Акимов В.М., Васильева Л.А, Климанов Е.А., Курбет И.Ю., Лисейкин В.П.,

Микертумянц А.Р., Серегина Н.Н., Щукин С.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассматриваются особенности различных вариантов технологических маршрутов изготовления многослойной системы металлизации с индиевыми микроконтактами (системы V-Al-Mo, V-Al-V, V-Al-Cr-Ni).

Приводятся данные, обосновывающие применение каждого из слоев металла для достижения необходимых электрических параметров мультиплексоров и обеспечения необходимой адгезии индия к верхнему слою металла при формировании индиевых микроконтактов.

Показано, что оптимальной системой металлизации является V-Al-Cr-Ni.

У77 Исследования пленок α -кремния и их применение в технологии кремниевых матричных МОП-мультиплексоров

Акимов В.М., Васильева Л.А., Борисов В.К., Климанов Е.А., Каган Н.Б.,

Курбет И.Ю., Лисейкин В.П.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Приводятся электронографические и электрические исследования пленок α -кремния, полученных магнетронным распылением из кремниевой мишени в вакууме и проводится их сравнение по кристаллической структуре и электрическим параметрам с традиционно используемыми для изготовления затворов МОП-транзисторов пленками поликремния, получаемыми термическим разложением моносилана.

Показано, что легированные пленки α -кремния имеют меньший размер зерна при одинаковых условиях легирования, что положительно сказывается на параметрах границы раздела Si-SiO₂ и качестве выполнения фотолитографических операций.

Приводятся характеристики матричных МОП-мультиплексоров форматов 128x128 и 384x288 с затворами из α -кремния.

У78 Технологические способы получения пленок оксида ванадия с повышенной величиной температурного коэффициента сопротивления

Варешкин М.Г., Картавенко А.В., Либерова Г.В., Эскин Ю.М.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрены технологические способы получения пленок оксида ванадия с повышенной величиной температурного коэффициента сопротивления (ТКС). Пленки оксида ванадия, полученные методом магнетронного распыления ванадиевой мишени в газовой смеси аргона и кислорода, имеющие величину ТКС 1,5-1,8%/°С, подвергались дополнительному отжигу в среде кислорода или кислорода и водорода в различных температурных и временных режимах. Величина ТКС пленок после отжига составляла 5-6%/°С. Данные пленки могут быть использованы для изготовления термочувствительных элементов микроболометрических матриц. Согласно литературным данным в настоящее время в Российской Федерации и за рубежом получены микроболометрические элементы на основе пленок оксида ванадия с максимальной величиной ТКС 3-3,5%/°С.

У79 Физический подход к решению проблем астрофизических ИК-детекторов

Фукс Б.И.

Институт радиотехники и электроники РАН, Москва, Россия

Астрофизические ИК детекторы служат для обнаружения и определения характеристик очень слабых источников излучения с уровнем фона и сигналов вплоть до $\sim 10^6$ квантов/см²сек. Это приводит к исключительно длинным переходным процессам (с временами релаксации до 1000 сек и более). При этом детекторы подвергаются частым воздействиям высокоэнергетических космических частиц, создающих очень большие импульсы тока и сильно влияющих на последующую релаксацию тока. Все это, а также другие проблемы, возникающие при работе этих детекторов в космосе, приводит к низкой точности определения характеристик изучаемых объектов. Попытки улучшить точность с помощью различных методов математической обработки сигналов не дали существенных результатов, поскольку ток детектора зависит не только от величины ИК-излучения, падающего на детектор в данный момент, но и от всего излучения, падавшего на детектор в течение длительного предшествующего промежутка времени. Поэтому электрический сигнал от одного и того же объекта сильно отличается при разных измерениях.

Решение данной задачи оказывается возможным с помощью построения физической модели работы детектора, что и было продемонстрировано на примерах ряда детекторов спутника Infrared Space Observatory (ISO). Наилучшие результаты были достигнуты для прибора ISOCAM (матрица Si:Ga детекторов), где построенная физическая модель обеспечила точность определения космических сигналов 1-2% для 90% детекторов в течение всего полета спутника (~2 года) при двух подгоночных параметрах, введенных в данной модели и остававшихся неизменными в течение всего полета.

В предлагаемом сообщении излагаются принципы построения физических моделей для различных Si и Ge детекторов и приводятся практические результаты, иллюстрирующие улучшение параметров детектирования при использовании подобных моделей.

У80 Твердотельные охладители на основе NIS структур

Булат Л.П.

*С.-Петербургский государственный университет низкотемпературных технологий,
Санкт Петербург, Россия*

Надежная термостабилизация при низких температурах, как правило, является необходимым условием работы фотоэлектрических и тепловых приемников излучения. Стандартные методы термостабилизации и получения низких температур, такие как использование сжиженных газов, эффектов Джоуля-Томсона и Стирлинга, других методов криогенной техники, оказываются дорогостоящими, трудноосуществимыми и малоэффективными из-за миниатюрных размеров элементов фотоэлектроники. Использование твердотельного (электронного) охлаждения оказывается весьма удобным для этих целей. Главными достоинствами твердотельных охладителей являются: как угодно малые габариты, простота управления, большой ресурс работы и долговечность, отсутствие движущихся частей и произвольная ориентация в пространстве. С другой стороны твердотельный холодильник позволяет охлаждать не весь объем фотоэлектронного элемента, а только пятна, которые нагреваются при работе устройства; это принято называть «охладитель на чипе». Такой охладитель позволяет упростить конструкцию элементов фотоэлектроники и снизить энергопотребление системы.

К твердотельным охладителям относятся в первую очередь термоэлектрические устройства. Однако в последние годы теоретически и экспериментально были исследованы охладители, использующие иные физические явления. В настоящей работе анализируются эти новые способы охлаждения и возможность их применения для нужд фотоэлектроники:

- термоэмиссионное охлаждение с использованием туннелирования электронов через вакуумный или полупроводниковый слой;
- термоэлектрическое охлаждение на основе низкоразмерных 2D, 1D и 0D наноструктур;
- термоэлектромеханическое понижение температуры, в котором применяется периодическое изменение электрического тока через элемент Пельтье синхронно с механическим тепловым переключением;
- охлаждение с использованием NIS-структур (нормальный металл – диэлектрик – сверхпроводник), этому способу уделено основное внимание.

Принцип действия NIS-холодильников основан на туннельном эффекте. В сверхпроводниках имеется запрещенная зона электронных состояний, причем в условиях термодинамического равновесия уровень Ферми нормального металла соответствует середине этой запрещенной зоны, поэтому туннелирование электронов через диэлектрический слой из металла в сверхпроводник невозможно. При достаточно большой напряженности электрического поля в области контакта электроны получают возможность туннелировать в незанятые состояния сверхпроводника, расположенные выше запрещенной зоны. Поскольку в сверхпроводник туннелируют только высокоэнергетичные электроны (с энергиями вблизи уровня Ферми) энергия оставшихся электронов уменьшается, и температура нормального металла понижается. В качестве примера NIS-структуры можно привести контакт Al/Al₂O₃/Cu. С помощью NIS-холодильника удалось охладить кубик из Ge с длиной ребра 250мкм до сверхнизкой температуры T = 0.22 К.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция А

А01 Фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок HgCdTe

¹Икусов Д.Г., Сизов Ф.Ф., Старый С.В., Тетеркин В.В.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

¹Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В температурном диапазоне 77-300 К выполнены измерения температурных зависимостей фоточувствительности и времени жизни неравновесных носителей в эпитаксиальных пленках $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с $x \approx 0,20-0,23$ приготовленных молекулярно-лучевой, парафазной и жидкофазной эпитаксией (МЛЭ, ПФЭ и ЖФЭ). Неравновесные носители возбуждались импульсным GaAs лазером ($\lambda = 0,88$ мкм, $\tau_{\text{имп}} \leq 40$ нс). Интенсивность лазерного излучения удовлетворяла условию слабых уровней возбуждения.

Пленки n -типа проводимости были выращены методом МЛЭ при температуре роста 190°C. Подложками служили монокристаллические пластины GaAs на которые последовательно наносились буферные слои ZnTe и CdTe толщиной порядка 0,3 и 6 мкм, соответственно. Для снижения рекомбинации на поверхности пленки и вблизи границы раздела с подложкой выращивались варизонные структуры с соответствующим профилем состава по толщине. В частности, на поверхности пленки был реализован состав, соответствующий $x \approx 0,3$. Толщина центральной части пленки, имеющей состав $x = 0,22$, составляла 10-15 мкм. Рост эпитаксиальных слоев, изготовленных методом ПФЭ, происходил при изотермическом испарении ($T = 600^\circ\text{C}$) и последующей диффузии атомов Hg из источника HgTe на подложку CdTe, находящуюся на небольшом расстоянии (5 мм) от источника. Однородные по составу слои имели толщину не менее 20 мкм. Концентрация дырок в слоях при $T = 77$ К составляла $p = (2 \div 8) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Выращивание пленок методом ЖФЭ происходило из раствора, обогащенного теллуrom на подложку CdZnTe при температуре 500°C и давлении паров Hg $\sim 0,1$ атм. Пленки имели дырочную проводимость с концентрацией носителей $5 \times 10^{15} \div 6 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Толщина пленок составляла 10 ÷ 16 мкм.

На основании измерений температурных зависимостей фоточувствительности и времени жизни неравновесных носителей в эпитаксиальных слоях $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ) с $x = 0,2-0,23$ и их сопоставления с результатами теоретических расчетов показано, что в пленках n -типа, выращенных методом МЛЭ, как в области собственной, так и в области примесной проводимости доминирует Оже-рекомбинация ССНС типа. В то же время в пленках КРТ p -типа, выращенных методами ЖФЭ и ПФЭ в области примесной проводимости наблюдается конкуренция Оже-рекомбинации СНЛН и рекомбинации Шокли-Рида. Показано, что пленки n -типа, выращенные методом МЛЭ, имеют гораздо меньшую концентрацию рекомбинационных центров по сравнению с пленками приготовленными методами ПФЭ и ЖФЭ.

Экспериментальные результаты объясняются на основании модели глубоких центров рекомбинации, которые формируются с участием вакансий ртути. Концентрация центров рекомбинации коррелирует с концентрацией дырок в образцах. Предположительно вакансия Hg может входить в состав более сложного дефекта. Уменьшение концентрации вакансий Hg в материале n -типа проводимости сопровождается также уменьшением центров рекомбинации. Это объясняет более высокие времена жизни в исследованных образцах пленок n -типа проводимости и отсутствие вклада рекомбинации Шокли-Рида.

A02 Исследование времени жизни носителей заряда в эпитаксиальных структурах КРТ

Шаронов Ю.П., Яковлева Н.И., Болтарь К.О., Ложников В.Е., Кудров В.Б.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведены измерения времени жизни неравновесных носителей заряда в эпитаксиальных слоях (ЭС) твердого раствора кадмий-ртуть-теллур (КРТ) р-типа проводимости и длины диффузионного смещения в матричных фотоприемниках (МФП), изготовленных на их основе. ЭС КРТ выращивались методами молекулярно-лучевой и жидкофазной эпитаксии. Фотодиоды изготавливались в эпитаксиальных слоях КРТ методами ионного легирования. Для считывания фотосигнала сигнала с МФП каждый фотодиод стыковался с МОП-транзистором.

Исследование времени жизни неравновесных носителей заряда в слоях КРТ проводилось бесконтактным методом по измерению времени релаксации концентрации носителей заряда при засветке поверхности эпитаксиального слоя прямоугольными импульсами лазерного излучения с длиной волны $\sim 0,9$ мкм и мощностью $\sim 0,5$ Вт. Значения времени жизни для ЭС КРТ р-типа состава $x=0,22$ составляли порядка 30 нс. Обнаружена неоднородность времени жизни в отдельных пластинах ЭС КРТ МЛЭ до трех раз вне зависимости от хорошей однородности состава x , концентрации и подвижности носителей заряда.

Полученные результаты сравнивались с данными измерений диффузионного смещения оптически генерированных носителей заряда в МФП по экспериментальной зависимости сигнала фотодиода от перемещения оптического зонда вдоль фоточувствительной площадки фотодиода. Метод позволяет измерять диффузионную длину с погрешностью $\sim 15\%$.

Эффективная диффузионная длина в измеренных образцах изменялась в пределах $10 \div 18$ мкм. Полученные результаты использованы при разработке топологии и технологии матричных фотоприемников на основе ЭС КРТ для достижения высоких фотоэлектрических параметров.

A03 Электрофизические и фотоэлектрические свойства МДП-структур на основе варизонного КРТ МЛЭ

¹Войцеховский А.В., ¹Несмелов С.Н., ¹Дзядох С.М., ²Варавин В.С., ²Дворецкий С.А.,
²Михайлов Н.Н., ²Сидоров Ю.Г., ²Васильев В.В., ²Захарьяш Т.И., ²Машуков Ю.П.
¹*Сибирский физико-технический институт при ТГУ, Томск, Россия*
²*Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

Узкозонный твердый раствор $Hg_xCd_{1-x}Te$ (КРТ) является основным материалом для создания высокочувствительных инфракрасных детекторов, действующих в спектральных диапазонах окон прозрачности атмосферы 3-5 и 8-12 мкм. Использование метода молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) предоставляет возможности создания пленок $HgCdTe$ с заданными профилями распределения по толщине компонентного состава и легирующей примеси. Интерес к МДП-структурам на основе варизонного эпитаксиального $HgCdTe$ обусловлен необходимостью пассивации поверхности матриц фотодиодов на основе $HgCdTe$, а также дополнительными возможностями, предоставляемыми варизонными структурами для разработки монолитных детекторов.

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований зависимостей фотоэдс, емкости и проводимости от напряжения, частоты и температуры для МДП-структур $HgCdTe/SiO_2/Si_3N_4$ и $HgCdTe/AOP$. МДП-структуры формировались на основе гетероэпитаксиальных варизонных пленок $Hg_{1-x}Cd_xTe$ электронного ($x=0.21-0.32$) и дырочного ($x=0.22$) типов проводимости, выращенных на подложках из GaAs методом молекулярно-лучевой эпитаксии.

Выявлены особенности электрофизических и фотоэлектрических свойств МДП-структур на основе HgCdTe, связанные с большими значениями сопротивления объема эпитаксиальной пленки, а также с наличием приповерхностных варизонных слоев. Показано, что сопротивление объема может приводить к уменьшению измеряемых значений емкости диэлектрика в режиме обогащения, а также к появлению максимумов емкости в начале обогащения

Экспериментально исследовано влияние концентрации основных носителей, а также наличия варизонных слоев на объемное время жизни неосновных носителей заряда для МДП-структур на основе n-HgCdTe. Показано, что в случае наличия варизонных слоев темновое сопротивление области пространственного заряда в 2-4 раза превышает сопротивление в структурах без варизонных слоев. Установлено влияние приповерхностных варизонных слоев на вид зависимостей фотоэдс от напряжения смещения и температуры. Показано, что для МДП-структур на основе n-HgCdTe с $x=0.22$ при низких температурах существенны процессы туннельной генерации через глубокие уровни в приповерхностном слое полупроводника. Выявлены механизмы, ограничивающие дифференциальное сопротивление области пространственного заряда при разных температурах.

А04 Исследование свойств границ раздела HgCdTe/АОП и HgCdTe/SiO₂-Si₃N₄

¹Войцеховский А.В., ¹Несмелов С.Н., ¹Дзядух С.М., ²Варавин В.С., ²Дворецкий С.А.,
²Михайлов Н.Н., ²Сидоров Ю.Г., ²Васильев В.В., ²Захарьяш Т.И., ²Машуков Ю.П.

¹*Сибирский физико-технический институт при ТГУ, Томск, Россия*

²*Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

Для повышения стабильности свойств гибридных матриц фокальной плоскости на основе фотодиодов из Hg_xCd_{1-x}Te (КРТ) необходима пассивация поверхности КРТ диэлектрическими покрытиями. Параметры матричных фотоприемников в значительной степени зависят от качества границы раздела КРТ/диэлектрик. Важнейшими характеристиками пассивирующего диэлектрика являются плотности фиксированного и подвижного зарядов, а также плотность поверхностных состояний. В данной работе приводятся результаты исследований свойств диэлектрика и границы раздела для МДП-структур HgCdTe/АОП и HgCdTe/SiO₂-Si₃N₄. При исследованиях использовались гетероэпитаксиальные пленки КРТ электронного ($x=0.21-0.32$) и дырочного ($x=0.22$) типов проводимости, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках из GaAs, с постоянным составом CdTe по толщине пленки, а также с приповерхностными широкозонными слоями. Для оценки качества границы раздела экспериментально исследовались зависимости емкости и проводимости МДП-структур от напряжения, частоты и температуры.

Показано, что для корректного определения параметров границы раздела МЛЭ HgCdTe – диэлектрик необходим учет влияния на измеряемые емкость и проводимость сопротивления объема эпитаксиальной пленки. Предложена методика обработки экспериментальных данных, исключая данный эффект. Показано, что для определения спектров поверхностных состояний в МДП-структурах на основе КРТ без варизонных слоев с $x=0.22$ хорошо подходит низкочастотный метод при учете эффектов вырождения и непараболичности в процессе расчета идеальной вольт-фарадной характеристики. Для анализа плотности поверхностных состояний в МДП-структурах на основе варизонного КРТ необходима методика построения идеальных вольт-фарадных характеристик для таких структур. В данной работе проведен расчет вольт-фарадных характеристик МДП-структур с приповерхностными варизонными слоями путем численного решения уравнения Пуассона для линейного и экспоненциального профилей распределения состава в приповерхностном слое.

Для исследованных образцов определены плотности фиксированного и подвижного зарядов, а также плотности поверхностных состояний в МДП-структурах HgCdTe/SiO₂/Si₃N₄ и HgCdTe/АОП. Для МДП-структур HgCdTe/АОП при нулевом напряжении реализуется режим обогащения, а для МДП-структур HgCdTe/SiO₂/Si₃N₄ возможны различные режимы, в том числе и режим плоских зон. Показано, что низкотемпературный диэлектрик SiO₂/Si₃N₄ хорошо подходит для пассивации поверхности матриц фотодиодов на основе HgCdTe из-за возможностей технологического управления величинами фиксированного заряда в диэлектрике, а также плотностями поверхностных состояний.

A05 Фотоприемное устройство с радиационно-охлаждаемым длинноволновым фоторезистором из КРТ

Бурлаков И.Д., Поповян Г.Э., Трошкин Ю.С., Шаронов Ю.П.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработанное фотоприемное устройство (ФПУ) предназначено для установки в ИК Фурье-спектрометр ИКФС-2, используемый для спектрального анализа излучения земли в области спектра 2÷16 мкм. ФПУ состоит из длинноволнового фоторезистора (ФР) с размером чувствительной площадки 2х2 мм², конструкция которого предусматривает его монтаж на хладопровод радиационного холодильника, и малощумящего предварительного предусилителя (ПУ) с рабочей полосой 3÷18 КГц, соединенных экранированным кабелем с малой теплопроводностью.

Измерение параметров ФПУ проводилось с использованием специального вакуумного криостата, в котором устанавливался фоторезистор. Для охлаждения использовался жидкий азот. Из-за низкой хладопроизводительности радиационного холодильника мощность подаваемого смещения на фоторезистор не превышала 20 мВт. ФПУ при рабочей температуре 80 К имело в максимуме спектральной чувствительности $\lambda_{\max} \cong 14$ мкм, удельную обнаружительную способность $D^*(\lambda_{\max}, 10\ 000, 1) = (3 \div 4) 10^{10}$ см.Гц^{1/2}Вт⁻¹. При увеличении рабочей температуры до 100 К удельная обнаружительная способность уменьшалась примерно в 3 раза за счет снижения уровня сигнала. Исследование спектральных характеристик показало, что при увеличении рабочей температуры с 80 до 100 К происходит сдвиг длинноволнового края чувствительности не более чем на 1 мкм в сторону коротких длин волн.

A06 Гетероструктуры с квантовыми ямами GaInAs/AlGaInAs/InP для ИК-фотоприемников спектрального диапазона 3-5 и 8-12 мкм

Мармалюк А.А., Рябоштан Ю.А., Будкин И.В., ¹Ладугин М.А.

ФГУП НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, Москва, Россия

117342, ул. Введенского, 3

¹*Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия*

248600, ул. Баженова, 4, e-mail: marm@sipplus.ru

Матричные ИК-фотоприемники с одновременной фоточувствительностью в спектральных диапазонах 3-5 и 8-12 мкм представляют значительный интерес. Одним из возможных вариантов реализации двухспектральной чувствительности является использование гетероструктур (ГС) с квантовыми ямами (КЯ) GaAs/AlGaAs ($\lambda=8-12$ мкм) и InGaAs/AlGaAs ($\lambda=3-5$ мкм). Получение указанных ГС с КЯ осложняется тем фактом, что система InGaAs/AlGaAs является несогласованной по периоду решетки, тогда как GaAs/AlGaAs полностью согласована. В итоге, КЯ в системе InGaAs/AlGaAs оказываются напряженными до величин, превышающих критические значения для генерации

структурных дефектов. Это снижает выходные характеристики ИК-фотоприемников, построенных на их основе. Целесообразным представляется поиск альтернативных систем материалов, позволяющих обеспечить фоточувствительность в заданных диапазонах и быть при этом согласованными по периоду решетки с материалом подложки.

Особый интерес, в этой связи, представляет система материалов GaInAs/AlGaInAs согласованная с подложкой InP. В системе твердых растворов GaInAs/AlGaInAs разрыв в зоне проводимости составляет $\Delta E_c = 0.72 \Delta E_g$, обеспечивая потенциальную яму для электронов достаточной глубины. Это обстоятельство позволяет надеяться на получение фоточувствительности в рассматриваемых диапазонах $\lambda = 3-5$ и $8-12$ мкм.

В работе выполнена расчетная оценка положения уровней размерного квантования электронов в КЯ GaInAs/AlGaInAs в зависимости от толщины КЯ InGaAs и состава барьера AlGaInAs, согласованных с подложкой InP. Определена геометрия КЯ, оптимальная для получения фоточувствительности в каждом из требуемых диапазонов ($\lambda = 3-5$ и $8-12$ мкм). Проведены эксперименты по получению ГС с КЯ GaInAs/AlGaInAs методом МОС-гидридной эпитаксии и изучены их характеристики. Отсутствие напряжений в полученных ГС с КЯ дает возможность сформировать на их основе высококачественные матричные ИК-фотоприемники с одновременной фоточувствительностью в двух спектральных диапазонах.

А07 Исследование распределения чувствительности в фоторезисторных структурах на основе КРТ

Акимова Н.М., Крапухин В.В., Шаевич В.И., ¹Вергелес П.С., ¹Якимов Е.Б.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

¹ИПТМ РАН, Черноголовка, Московская обл., Россия

Для оптимизации технологии изготовления многоэлементных фоторезисторов на основе КРТ необходимо контролировать параметры материала в готовых фоточувствительных элементах (ФЧЭ) и влияние технологических обработок на эти параметры. Перспективным методом такого контроля является растровая электронная микроскопия в режиме наведенного тока. Особенно эффективно ее использования для элементов с размерами менее 100 мкм, поскольку относительный отклик фоторезистивных элементов при их локальном возбуждении возрастает с уменьшением размеров. Использование этого метода позволяет получать распределение дополнительного тока, возникающего в ФЧЭ при его возбуждении сфокусированным электронным пучком, в зависимости от положения пучка, которое соответствует распределению фоточувствительности по элементу. Такое распределение, при сравнении его с расчетным, позволяет оценить однородность распределения фоточувствительности элементов, выявить области с повышенной скоростью рекомбинации неравновесных носителей заряда, оценить значение эффективной диффузионной длины в готовом элементе и скорости поверхностной рекомбинации на боковых поверхностях элементов.

Исследования проводились в растровом электронном микроскопе JSM-840A (JEOL) при энергиях пучка 30-35 кэВ, приложенных к ФЧЭ напряжениях до 50 мВ и температуре 90-100 К. При использованных энергиях электронов глубина проникновения пучка составляла несколько микрометров, что позволяло генерировать неравновесные носители заряда непосредственно в пленке КРТ.

Приведены результаты экспериментальных исследований ФЧЭ и характеристики, полученные из их обработки. Для моделирования однородных элементов решалось двумерное диффузионно-дрейфовое уравнение. Кроме того, в рамках одномерного приближения проведено моделирование неоднородных элементов, как с неоднородным распределением равновесных носителей заряда, так и с неоднородным распределением скорости рекомбинации в направлении приложенного электрического поля. Показано, что сравнение с расчетным распределением, позволяет оценить размеры неоднородностей электрических свойств в ФЧЭ.

А08 Исследование планарных фотодиодных структур на слоях InSb на сапфире, полученных методом направленной кристаллизации

Астахов В.П., Карпов В.В., Крапухин В.В., ¹Падалко А.Г., ¹Пашкова О.Н., ²Якимов Е.Б.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

¹*ИФХПКМ РАН, Москва, Россия*

²*ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия*

Исследовались планарные фотодиодные структуры с топологией 64-х элементных фотодиодных линеек серийного фотоприёмного устройства. Материалом служили слои InSb n-типа проводимости с концентрацией электронов $(3 \div 4) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $(8 \div 9) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{с}$ при $T = 77\text{К}$, полученные на сапфире методом направленной кристаллизации тонких слоёв расплава¹. Исходные слои имели толщину около 0,5 мм с высокоразвитым рельефом поверхности. Для формирования приборных структур слои утонялись до толщины $0,065 \div 0,080 \text{ мм}$. Фотодиодные линейки изготавливались по серийной технологии с применением имплантации ионов бериллия.

Измерены прямые и обратные ветви ВАХ полученных фотодиодов, а также распределения по фоточувствительным площадкам сигнала наведённого тока в РЭМ. Кроме того, полученные структуры монтировались в конструкцию серийного ФПУ в двух вариантах – с засветкой со стороны слоя и со стороны сапфировой подложки.

Полученные результаты показали возможность использования слоев InSb на сапфире для формирования фоточувствительных элементов. Выявленные характерные отличия исследуемых фотодиодных структур от структур – аналогов, изготовленных из монокристаллического InSb марки ИСЭ-2в, обусловлены столбчатой структурой слоя InSb и механическими напряжениями на границе слой – подложка.

¹А.Г. Падалко, В.Я. Шевченко, В.П. Саныгин // Направленная кристаллизация и структура тонких слоёв InSb на сапфире // Неорг. мат., т.14, (1978) 1978.

А09 Результаты исследований многоэлементных планарных фотодиодов на InSb методом наведённого тока

Астахов В.П., Карпов В.В., ¹Якимов Е.Б.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

¹*ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия*

Методом наведённого тока исследованы многоэлементные малоразмерные (150 x 150 мкм) планарные фотодиоды на кристаллах InSb, полученные с применением имплантации ионов Be^+ при формировании p^+-n перехода и анодного окисления для защиты поверхности. Обнаружено влияние степени легирования исходных кристаллов на распределение наведённого тока по поверхности кристаллов за пределами планарных границ p^+-n переходов. Показано, что наиболее совершенные p^+-n переходы формируются на наиболее высокоомных кристаллах при применении наименьших из использовавшихся энергий и доз имплантации, а также постимплантационного импульсного фотонного отжига. Произведены оценки величин диффузионной длины во всех типах изучавшихся структур. Обнаружена зависимость степени зарядки анодного окисла электронным пучком от состава электролита при анодировании.

A10 Формирование фотодиодов на основе n-HgCdTe имплантацией As⁺

Протасов Д.Ю., Захарьяш Т.И., Васильев В.В., Варавин В.С.,

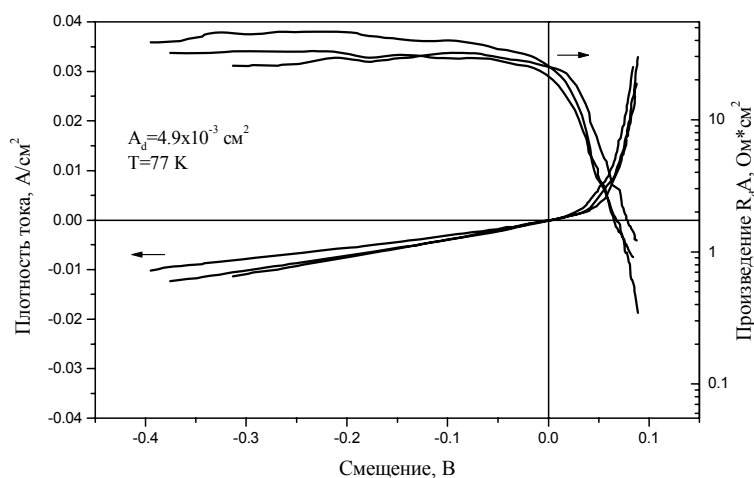
Смирнов Р.Н, Икусов Д.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В настоящее время для создания фотодиодов наиболее широко применяются образцы HgCdTe с р-типом проводимости. Однако структуры с поглощающим слоем n-типа имеют по сравнению со структурами с поглощающим слоем р-типа ряд преимуществ.

В данной работе получены фотодиоды путем имплантации мышьяка в подложку n-типа с последующим двустадийным отжигом. Высокотемпературная стадия отжига проводилась при температуре образца 350-360 °С и температуре ртути 340-350 °С в течение 2 часов. На этой

стадии происходит активация мышьяка, и одновременно в объеме образца генерируются вакансии ртути. Для заполнения вакансий ртути проводилась вторая низкотемпературная стадия отжига при температуре образца 215-225 °С и температуре ртути 205-215 °С. Фотодиоды были изготовлены по меза-технологии.



Темновые ВАХ и дифференциальное сопротивление тестовых фотодиодов

На рисунке показаны типичные ВАХ и дифференциальное сопротивление для тестовых фотодиодов.

Плотность темнового тока при смещении $U = -0.1 \text{ В}$ составляет $\sim 0.04 \text{ А/см}^2$. Значение произведения R_0A лежит в диапазоне $20 \div 28 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ ($\lambda_c = 9.7 \text{ мкм}$). Оценка интегральной ампер-ваттной чувствительности дает значение $S = 1,92 \text{ А/Вт}$.

A11 Инфракрасные фотоприемники на основе гетероструктур HgCdTe/CdZnTe/GaAs с варизонными слоями HgCdTe

Варавин В.С., Васильев В.В., Дворецкий С.А., Захарьяш Т.И., Клименко А.Г.,

Козлов А.И., Марчишин И.В., Михайлов Н.Н., Овсяк В.Н., Сусяков А.О.,

Сидоров Ю.Г., Асеев А.Л.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Проведены разработки и исследования параметров линейчатых и матричных диодных фоточувствительных элементов (ФЧЭ) и их гибридных сборок с мультиплексорами на основе гетероэпитаксиальных слоев (ГЭС) теллурида кадмия и ртути (КРТ), выращенных методом молекулярно-лучевой (МЛЭ) на подложках из арсенида галлия (АГ) и кремния (К). ГЭС КРТ МЛЭ имеют переменный профиль состава по глубине, который оптимизируется для приборов различного назначения.

Проведенные модельные расчеты и экспериментальные результаты показали, что варизонные широкозонные слои на поверхности ГЭС КРТ МЛЭ позволяют существенно снизить поверхностную рекомбинацию носителей заряда и токи утечки. Это позволяет улучшить параметры диодных фотоприемников и упростить технологию их изготовления.

Снижение последовательного сопротивления существенно для диодных быстродействующих, гетеродинных и матричных фотоприемников на основе КРТ р-типа проводимости. Проведенные расчеты и экспериментальные результаты показали, что выращивание тонкого узкозонного или высоколегированного слоя на интерфейсе между КРТ и буферного слоев ГЭС КРТ МЛЭ и последующего широкозонного слоя приводит к значительному увеличению рабочей частоты гетеродинных фотоприемников и обеспечению постоянства напряжения смещения всех фоточувствительных элементов матрицы большого формата.

На основе ГЭС КРТ МЛЭ (АГ) изготовлены гетеродинные одиночные фотодиоды с $\lambda_c = 11,5$ мкм и проведены сравнительные испытания на частоте до 40 МГц при прямом детектировании и на частоте 11,3 МГц при гетеродинном приеме. Методом планарной низкотемпературной технологии изготовлены матричные и линейчатые фотоприемники, форматом 128×128 , $320 \times 240(256)$, 1×576 и 4×288 для спектральных диапазонов 8-12 и 3-5 мкм, работающие при температуре 80К и 210К. Получены тепловые изображения с NEDT 9-25 мК.

Изготовлены первые матричные фотоприемники на основе ГЭС КРТ МЛЭ (К) для спектрального диапазона 3-5 мкм с форматом 128×128 с NEDT 0,2 – 0,3 К.

А12 Гистерезис вольт-фардных характеристик структур на р-Cd_{0.27}Hg_{0.73}Te с широкозонным варизонным слоем на поверхности

Васильев В.В., Машуков Ю.П.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В данной работе исследуются вольт-фардные характеристики (ВФХ) МДП-структур, изготовленных на эпитаксиальных пленках $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$; состав основной части $x = 0.27$, ее толщина 9 мкм, варизонная часть – x плавно изменяется от 0.27 до 0.71 на поверхности, толщина ее 0.5 мкм, холловская концентрация дырок $p = 9 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Обнаружен характерный гистерезис (рис.1) – при прямом ходе развертки ВФХ близка к обычной высокочастотной, а при обратном ходе имеется протяженная полочка. Анализ показал, что область пространственного заряда в данном образце перекрывает всю варизонную область и заходит в однородную часть. При этом на зонной диаграмме зона проводимости имеет два минимума энергии, один – обычный инверсионный минимум на поверхности, а другой – на границе варизонной области. Оценка показала, что перетекание электронов между минимумами может привести к заметной экранировке варизонной области от действия электрического поля тестирующего сигнала, в результате чего емкость структуры увеличивается. Этим эффектом объяснено наблюдаемое некоторое увеличение инверсионной емкости при прямом ходе. Для объяснения полочки сделано предположение, что кроме акцепторных имеются также донорные уровни, перезарядка которых при прямом ходе приводит к образованию на

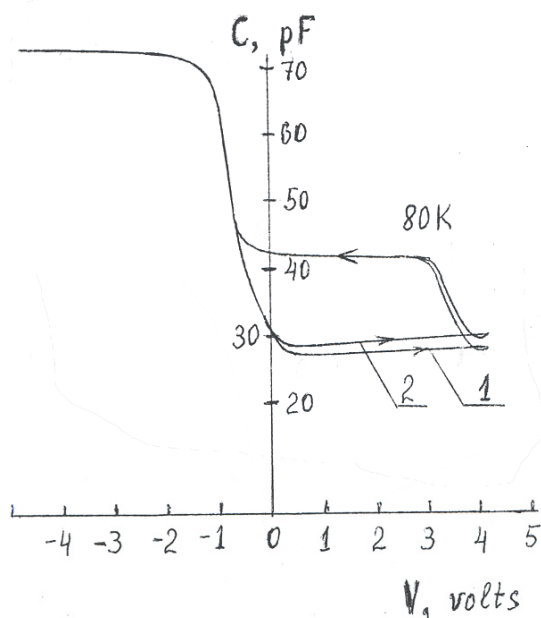


Рис. 1 – темновая ВФХ, 2 – при фронтальном освещении (полевой электрод непрозрачен).

поверхности потенциальной ямы, которая не исчезает при обратном ходе, когда вся зонная диаграмма поднимается вверх. Задержка электронов в этой потенциальной яме и приводит к образованию полочки.

A13 Формирование пассивационного покрытия на основе теллурида кадмия для ИК-фоточувствительной матрицы HgCdTe

Андреева Е.В., Апатская М.В., Билевич Е.О., Вуйчик Н.В., Дарчук Л.А.,
Сарсембаева А.З., Сизов Ф.Ф.*, Цибрий З.Ф.

*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина
03028, пр. Науки, 45, тел. / факс.: +380445251810, *E-mail: sizov@isp.kiev.ua*

Важным материалом для создания фоточувствительных матриц микрофотозлектронных инфракрасных (ИК) приборов является ртуть-кадмий-теллур. Для изготовления современных ИК фотодетекторов основанных на узкозонном полупроводнике $Hg_{1-x}Cd_xTe$ используются слои выращенные методом жидкофазной эпитаксии на подложках CdTe или CdZnTe.

Свойства ИК фотодиодов на $Hg_{1-x}Cd_xTe$ существенно зависят от химической и электронной структуры поверхности, поэтому существует необходимость в создании пассивационного слоя для уменьшения поверхностных токов утечки.

Мы использовали метод горячей стенки для формирования пассивационного слоя CdTe на выращенном с помощью жидкофазной эпитаксии на подложке CdZnTe слое $Hg_{1-x}Cd_xTe$. Нагрев КРТ приводит к изменению состава поверхностного слоя и последующей деградации фотодиодов, поэтому нами был разработан технологический процесс, позволяющий избежать длительного нагрева подложки КРТ во время выращивания пассивационного слоя теллурида кадмия.

Выращенные пленки теллурида кадмия были исследованы методами высокоразрешающей оптической микроскопии, ИК-спектроскопии и эллипсометрии.

Выращенные пленки имели мелкозернистую поликристаллическую структуру.

Спектр пропускания тонких пленок теллурида кадмия был исследован в диапазоне от 0,7 до 10 мкм с помощью ИКС-31. Край поглощения полученных пленок лежит в области 0,8-0,85 мкм с коэффициентом поглощения около 55 – 60 %. Эти результаты согласуются с известными в литературе данными для тонких пленок теллурида кадмия выращенного другими методами. Проведенные расчеты показали, что ширина запрещенной зоны тонкопленочного теллурида кадмия составляет 1.48 eV, что несколько меньше чем для объемного материала, и может быть связано с внутренней напряженностью эпитаксиального слоя.

Разработана методика математической обработки данных эллипсометрии, позволяющая получить точные значения показателя преломления и поглощения, а также значение толщины пассивационной пленки CdTe.

Полученные показатели преломления пленок меньше чем значения показателя преломления для монокристаллического CdTe, что свидетельствует об их мелкодисперсной структуре.

A14 Анализ пороговых характеристик GeSi/Si детекторов в спектральном диапазоне 8-12 мкм

¹Войцеховский А.В., ¹Несмелов С.Н., ²Кульчицкий Н.А.,
²Кульчицкий А.Н., ²Мельников А.А.

¹ *Томский государственный университет, Томск, Россия*

² *Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), Москва, Россия*

Кремниевые детекторы с внутренней фотоэмиссией (барьеры Шоттки и гетероструктуры) перспективны для разработки матриц фокальной плоскости инфракрасного диапазона, что обусловлено высокой стабильностью и хорошей однородностью свойств детекторов данного типа [1]. Фотоэмиссионные детекторы на основе кремния предоставляют преимущества использования высокоразвитой кремниевой технологии и реализации монолитных матриц, в которых матрица детекторов и схемы считывания и обработки видеосигнала выполнены на одном кремниевом кристалле. Крупноформатные двумерные матрицы на основе барьеров Шоттки PtSi/p-Si, обладают превосходной стабильностью и однородностью свойств в спектральном диапазоне 3-5 мкм, но не могут использоваться для детектирования в спектральном диапазоне 8-12 мкм.

Дополнительные возможности при создании кремниевых детекторов для спектральных диапазонов 3-5 и 8-12 мкм предоставляют эпитаксиальные гетероструктуры $p^+-Ge_xSi_{1-x}/p-Si$, граничной длиной которых можно управлять путем изменения соотношения компонентного состава силицида германия. Первыми детекторами, созданными на основе гетероструктур GeSi/Si, были детекторы на основе классического гетероперехода с внутренней фотоэмиссией (HIP – heterojunction internal photoemission). На основе силицида германия в настоящее время разрабатывается несколько новых типов инфракрасных детекторов: детекторы на основе классического гетероперехода с внутренней фотоэмиссией, детекторы на основе множественных квантовых ям, многоспектральные детекторы на основе многослойных структур PtSi/Si/GeSi/Si и PtSi/GeSi/Si, детекторы на основе GeSi-микроболометров [1].

Следует отметить, что в настоящее время достаточно подробно разработана концепция использования детекторов на основе гетеропереходов $p^+SiGe/p-Si$ для детектирования в спектральном диапазоне 3-5 мкм. Предложено также использовать GeSi/Si детекторы для детектирования в окне прозрачности 8-12 мкм, но эти детекторы обычно действуют при очень низких рабочих температурах (менее 50К). В связи с этим важной современной задачей является повышение рабочей температуры детекторов на основе гетероструктур GeSi/Si, действующих в спектральном диапазоне 8-12 мкм.

В работе проведен анализ формул для расчета пороговых характеристик HIP-детектора, а также рассчитаны зависимости обнаружительной способности и NETD от граничной длины волны HIP-детекторов, действующих в спектральном диапазоне 8-12 мкм. Показано, что зависимости NETD от граничной длины волны имеют минимум при граничной длине волны 10-11 мкм. Увеличение NETD при меньших граничных длинах волн обусловлено малыми значениями квантовой эффективности, а при больших граничных длинах волн - увеличением темнового тока. Показана возможность оптимизации характеристик GeSi/Si детекторов путем изменения граничной длины волны и рабочей температуры. Рассчитаны зависимости оптимальной длины волны HIP-детектора от рабочей температуры детектора при разных условиях регистрации излучения и соответствующие значения NETD. Показано, что HIP-детекторы могут обеспечивать малые значения NETD (менее 0.1К) при температуре 70К.

1. А. Rogalskii «Infrared detectors», London, 2001, 736 p.

А.Рогальский «Инфракрасные детекторы», пер. с англ. под ред. А.В. Войцеховского, Новосибирск.- Наука.- 2003, 636 с.

A15 Особенности спектров fotocувствительности варизонных фотодиодов с локальной неоднородностью времени жизни носителей заряда

Соколовский Б.С.

*Львовский национальный университет им. И. Франко, Львов, Украина
ул. Драгоманова, 50, 79005*

Варизонным структурам КРТ, полученным методом испарение-конденсация-диффузия [1], зачастую свойственны повышенные значения скорости рекомбинации неравновесных носителей заряда на границе подложка-наращенный слой. Влияние металлургической границы раздела на фотопроводимость варизонных слоёв теоретически исследовано в [2]. В настоящей работе выполнен расчёт спектров fotocувствительности варизонных фотодиодов, в которых время жизни характеризуется локальной (сингулярной) неоднородностью.

Для случая обратно смещенного фотодиода, освещаемого монохроматическим излучением со стороны широкозонной грани, с учетом квазиэлектрических полей, обусловленных градиентами краёв зон разрешенных энергий, получены аналитические выражения для координатных зависимостей концентрации неравновесных носителей заряда, а также для спектральных зависимостей фототока. Спектры fotocувствительности рассматриваемых фотодиодов характеризуются немонотонной формой с локальным минимумом при энергии фотонов, равной ширине запрещенной зоны на металлургической границе. При возрастании градиента ширины запрещенной зоны глубина минимума уменьшается, а спектральная характеристика становится более асимметричной. С приближением слоя повышенной рекомбинации к области объёмного заряда р-п-перехода происходит уменьшение интегральной fotocувствительности как за счёт увеличения рекомбинационных потерь фотоносителей, так и роста темного тока.

[1] V.G. Savitsky, O.P. Storchun. *Thin Solid Films*, **317**, 105 (1998).

[2] Б.С. Соколовский. *Изв. вузов. Физика*, **40**, 94 (1997).

A16 Создание примесно легированных $n - p$ структур $CdHgTe$

¹Власов А.П., ²Бончик А.Ю., ³Ижнин И.И., ⁴Барч А.

¹ *Львовский национальный университет им. И. Франко, Львов, Украина*

² *Институт прикладных проблем механики и математики НАН, Львов, Украина*

³ *НИИ материалов НПП «Карат», Львов, Украина*

⁴ *Институт физики ПАН, Варшава, Польша*

В настоящее время ведутся интенсивные исследования по созданию фотодиодных структур на основе легированного акцепторными примесями As или Au $p-Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) [1, 2]. Для формирования $n - p$ структур на основе легированного КРТ в основном применяют различные варианты ионного травления или ионную имплантацию (ИИ) примеси, в частности ионов бора. При этом в последнем случае для активации и разгонки внедренной примеси необходимо проведение после имплантационного отжига. Особенность ИИ бора в легированные Au слои КРТ состоит в том, что в активной области структуры происходит вытеснение акцепторной примеси [1]. Такое поведение может быть следствием взаимодействия донорной и акцепторной примесей в металлической подрешётке КРТ.

Для исследований в работе был использован монокристаллический варизонный эпитаксиальный слой $p\text{-Cd}_{0.19}\text{Hg}_{0.81}\text{Te}$, автолегированный As, и полученный методом

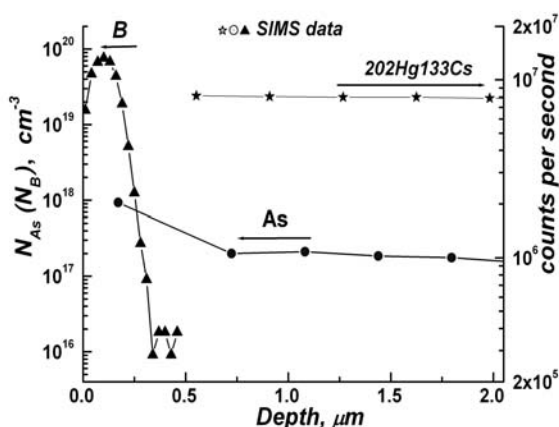


Рис. ВИМС профили В и As в эпитаксиальном слое $\text{Cd}_{0.19}\text{Hg}_{0.81}\text{Te}$ после ИИ и отжига

«испарение – конденсация – диффузия» на подложках CdTe:As (111). Концентрация акцепторов в этом слое по результатам гальваномагнитных измерений составляла $|N_A - N_D|_{77\text{K}} = 7.8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и соответствовала количеству внедренной примеси, определенной посредством ВИМС анализа. Имплантацию ионов B^+ проводили при энергии 40 кэВ и флюенсе $4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. После имплантационный отжиг осуществляли в изотермическом режиме в насыщенных парах ртути при $T=200^\circ\text{C}$ на протяжении одного часа.

Характеризация полученных структур осуществлялась при помощи ВИМС анализа (рис.) и анализа спектров подвижности

носителей, определенных из полевых зависимостей коэффициента Холла и проводимости. Установлено, что ионная имплантация бора и последующий отжиг не влияют на исходное распределение мышьяка в исследуемой структуре. Показано, что в результате ИИ и отжига формируется неоднородная $n^+ - n$ структура, характеризующаяся наличием областей с высокой и низкой подвижностью электронов. Обсуждаются возможные механизмы образования такой $n^+ - n$ структуры.

1. Kinch M.A., Chandra D., Schaake H.F., et. al. J. Electron. Mater., **33**, 590 (2004).
2. Terterian S., Chu M., Mesropian S., et. al. J. Electron. Mater., **31**, 720 (2002).

A17 Легирование ионами бора варизонных эпитаксиальных пленок МЛЭ КРТ

¹Войцеховский А.В., ¹Коротаев А.Г., ¹Кохенко А.П., ¹Григорьев Д.В., ²Варавин В.С.,

²Дворецкий С.А., ²Сидоров Ю.Г., ²Михайлов Н.Н., ²Талипов Н.Х.

¹Сибирский физико-технический институт при ТГУ, Томск, Россия

²Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В работе приведены результаты исследования влияния области переменного состава материала на результаты ионного легирования варизонных эпитаксиальных пленок КРТ. Для проведения экспериментов были подготовлены образцы эпитаксиальных пленок с различным распределением состава в приповерхностной области материала. Образцы облучались ионами бора при комнатной температуре в непрерывном режиме в диапазоне доз от $10^{11} - 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ и энергий 20 – 150 кэВ.

Изучение дозовых зависимостей интегральных электрофизических параметров материала показало, что натуральный логарифм скорости введения электрически активных радиационных дефектов линейным образом зависит от состава материала эпитаксиальной пленки в области среднего проецированного пробега имплантируемых ионов. Исследовано пространственное распределение электрически активных радиационных дефектов (РД) $n(z)$ по глубине облученного материала. Обнаружено, что прослеживается явная зависимость величин объемной концентрации и подвижности легированной области от состава эпитаксиальной пленки на глубине, где расположен максимум профиля распределения $n(z)$.

Полученные экспериментальные результаты позволили сделать вывод, что глубина залегания профиля распределения $n(z)$, а также значение концентрации электронов в его максимуме, главным образом определяются скоростью генерации первичных РД и

составом КРТ в области локализации профиля РД. Дополнительные факторы, связанные с наличием градиента состава в области внедрения имплантанта не оказывают определяющего влияния на результирующее распределение электрически активных РД.

В практическом плане полученные результаты могут быть использованы для оптимизации режимов ионной имплантации в МЛЭ КРТ с широкозонными варизонными слоями в приповерхностной области при изготовлении диодных структур.

A18 Влияние эффекта памяти на работу фотоприемника из GaAs:Cr

^{1,2}Саламов Б.Г., ^{1,2}Мамедов Т.С., ¹Озчелик С., ³Лебедева Н.Н.

¹Гази Университет, физический факультет, Анкара, Турция

²Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

³Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

¹Тел. + 90 312 2126030; Факс: +90 312 2122279; mts@gazi.edu.tr

Измерялись ВАХ полупроводникового газоразрядного преобразователя ИК изображения (ПГПИИ), когда оба электрода металлические и когда один из металлических электродов заменен на высокоомным фотоприемником из GaAs:Cr ($\rho \sim 10^8$ Омсм). Вместе с высокоскоростной камерой, работающей в видимой области, такие ПГПИИ могут быть применены для двумерного анализа быстрых динамических процессов в ИК-области. Исследуется электрическая проводимость узкого ($d = 60$ мкм) воздушного газоразрядного зазора при давлении $p=60$ тор. Показано, что в ПГПИИ с фотоприемником из GaAs:Cr ток через устройство регистрируется до начала пробоя газа. Величина допробойного тока зависит от условий эксперимента: он существенно возрастает, если газовый зазор предварительно подвергался пробую. Следовательно, система обладает памятью. Величина эффекта памяти зависит от величины ионизационного тока и не зависит от полярности ионизирующего напряжения. Эффект отсутствует в системе, где оба электрода металлические; эффект исчезает после откачки газа до 10^{-1} тор. Всем этим условиям удовлетворяет представление об установлении диффузионно-дрейфового равновесия зарядов в газовом промежутке, связанное с зарядкой приповерхностного слоя фотоприемника, что обеспечивает стабильность остаточного допробойного тока в газе.

A19 Гетероэпитаксиальные структуры Cd_xHg_{1-x}Te, легированные мышьяком в процессе роста методом МЛЭ

Михайлов Н.Н., Варавин В.С., Дворецкий С.А., Икусов Д.Г., Карташов В.А., Сидоров Ю.Г., Смирнов Р.Н.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия
630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13, E-mail: mikhailov@isp.nsc.ru

Для создания инфракрасных матричных фотоприемников базовым материалом являются твердые растворы р-типа Cd_xHg_{1-x}Te (КРТ), концентрация основных носителей которых определяется вакансиями ртути. Время жизни неравновесных носителей заряда в таком материале обычно составляет от единиц до десятков наносекунд для различных спектральных диапазонов (3 – 5 и 8 – 12 мкм). Преднамеренное легирование примесями в процессе роста позволяет существенно увеличить время жизни неосновных носителей, воспроизводимо получать заданную концентрацию носителей в слоях.

Проведено легирование мышьяком гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) КРТ в процессе выращивания на подложках из GaAs (АГ) на установке молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) “Обь-М”. Легирование проводилось испарением элементарного мышьяка из эффузионной ячейки, при котором поток мышьяка состоит из четырехатомных молекул As₄.

Установлено, что после роста ГЭС КРТ МЛЭ (АГ), легированные мышьяком,

имеют электронный тип проводимости и концентрация носителей прямо пропорциональна величине потока As_4 . Для конверсии типа проводимости проводился двухстадийный термический отжиг выращенных ГЭС КРТ МЛЭ (АГ) по следующей схеме:

- 1) отжиг при температуре $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 2 часов;
- 2) отжиг при температуре $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 20 часов в атмосфере ртути.

В процессе отжига 1 атомы мышьяка из узлов металлической подрешетки переходят в узлы подрешетки теллура. Отжиг 2 необходим для заполнения вакансии ртути, которые образовались в процессе отжига 1. Концентрация и подвижность дырок лежали в интервалах $(8\div 20)\times 10^{15}\text{ см}^{-3}$ и $400\div 500\text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$. Время жизни неосновных носителей заряда для составов КРТ $X_{\text{СдТе}} = 0,22\text{-}0,23$ составляло $100\div 300\text{ нс}$, которое на два порядка превышает время жизни в вакансионных ГЭС КРТ МЛЭ (АГ) р-типа.

Определено, что коэффициент встраивания мышьяка при легировании из потока молекул As_4 при температуре роста ГЭС КРТ МЛЭ (АГ) $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ достаточно низкий. Разработан и испытан источник потока молекул мышьяка As_2 с крекингом молекул мышьяка As_4 . Установлена зависимость изменения электрофизических параметров выращиваемых структур от температуры зоны крекинга источника мышьяка.

А20 Фотодиоды на основе эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$

Джалилова Х.Д., Алиев А.А., Фараджев Н.В., Алекперова Ш.М.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Представлены результаты оптических и фотоэлектрических свойств р-п структуры на основе эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($0,03\leq x\leq 0,07$), выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на диэлектрической подложке BaF_2 (111) в инфракрасной (ИК) области спектра и в области собственного поглощения.

В спектрах отражения р- $Pb_{1-x}Sn_xSe$ $\langle Ga \rangle$ ($p=0,6\div 2\cdot 10^{17}\text{ см}^{-3}$, $T=77\text{ К}$) в длинноволновой части $13\div 20\text{ мкм}$ наблюдались минимумы отражения, которые можно интерпретировать как плазменные минимумы, обусловленные взаимодействием света со свободными носителями тока. С уменьшением концентрации минимумы смещаются в длинноволновую область спектра.

Анализ спектров отражения $Pb_{1-x}Sn_xSe$ выше края поглощения в области энергий $0,6\div 12\text{ эВ}$ при 300 К показал, что спектры отражения являются характерными для полупроводников $A^{IV}B^{VI}$, что свидетельствует об одинаковом происхождении пиков в этих пленках. Примечательно, что на длинноволновом крыле пика для некоторых пленок наблюдалась слабая дополнительная структура при $0,8\text{ эВ}$.

Проведены исследования спектров относительного температурного изменения коэффициента отражения – термоотражения (ТО) $Pb_{1-x}Sn_xSe$ в области $1\div 6\text{ эВ}$. В спектре ТО проявляется большее количество структур, чем в спектрах обычного отражения.

С целью получения информации о типе критических точек, соответствующих структурам в оптических спектрах, был проведен анализ Крамерса-Кронига спектров ТО. Положение пиков соответствует аналогичным пикам объемных материалов.

Проведены исследования р-п структур на основе полученных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe\langle Ga \rangle$. Анализ прямой ветви вольт-амперной характеристики показывает, что доминирующим является генерационно-рекомбинационный ток со значения коэффициента $\beta=2\div 2,2$. При небольших значениях обратного смещения $I_{\text{обр}}\sim U^{1/2}$.

Максимум фоточувствительности соответствует $\lambda_{\text{max}}=9,8\div 10\text{ мкм}$. Вычисленная квантовая эффективность фотодиодов оказалась равна $10\div 15\%$. На линейке из 10 элементов разброс основных фотоэлектрических параметров составлял около 10% , что свидетельствует о высокой однородности полученных пленок.

А21 Исследование температурных зависимостей подвижности носителей заряда и коэффициента Холла в эпитаксиальных слоях $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ ($0.09 < x < 0.3$, $0 < y < 0.17$)

Белогорохов А.И., Денисов И.А., Смирнова Н.А., ¹Белогорохова Л.И., Елютин А.В.
ГНЦ РФ «Гиредмет», Москва, Россия

¹Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Полупроводниковые твердые растворы $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ могут стать одним из основных материалов для создания на их основе инфракрасных (ИК) детекторов, работающих в интервале длин волн 3-5 мкм при температурах 170–295К. Для этого необходимо решить проблему выращивания гетероструктур $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}/\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ с заданной шириной запрещенной зоны и электрофизическими параметрами, а также с улучшенными структурными свойствами. Следует иметь в виду, что многокомпонентные изовалентные полупроводниковые твердые растворы в целом ряде случаев не являются случайными сплавами. В них может наблюдаться коррелированное заполнение узлов подрешеток, что может повлечь за собой неконтролируемое изменение их электрофизических свойств.

В работе проведены исследования температурных зависимостей подвижности носителей заряда, удельного сопротивления и коэффициента Холла в температурном интервале от 300К до температуры жидкого гелия. Определены энергии активации примесных уровней и уровней, соответствующих структурным дефектам и/или дефектным комплексам. По результатам измерений можно сделать вывод о том, что основными механизмами рассеяния носителей заряда в исследованных образцах являются рассеяние на акустических и полярных оптических фонах. Для того чтобы иметь возможность контролировать проявление эффектов коррелированного распределения атомов в подрешетках $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$, а также влияние эффектов спинодального распада, были проведены исследования динамики решетки указанных твердых растворов с применением метода инфракрасной спектроскопии. Примесный состав контролировался методом ВИМС.

Выращивание эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ ($0.09 < x < 0.3$, $0 < y < 0.17$) проводили методом жидкофазной эпитаксии в запаянной кварцевой ампуле при температуре 490-500°C на подложках $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x = 0.03 \div 0.05$) ориентации (111)В. Выращенные слои имели *p*- тип проводимости. После отжига образцов в насыщенных парах ртути в течение 4-5 часов концентрация дырок составляла $(0.8 \div 3.0) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Плотность дислокаций в эпитаксиальных слоях не превышала значений $(2 \div 4) \times 10^4 \text{ см}^{-2}$. Спектры отражения и пропускания в ИК-области длин волн регистрировали с помощью Фурье - спектрометра IFS-113v (Bruker) со спектральным разрешением не хуже 0.2 см^{-1} . Обработка экспериментальных зависимостей проводилась с использованием соотношений Крамерса-Кронига и генетического алгоритма.

Последующая процедура моделирования и расчет коэффициента отражения образцов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ различного состава с помощью генетического алгоритма позволили выявить присутствие в спектрах дополнительных фонных мод по отношению к основным оптическим фонам, значения частот которых рассчитывались в рамках модели однородных ячеечных смещений. Проведенный анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что появление дополнительных мод решеточных колебаний не связано с эффектами типа упорядочения или спинодального распада.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 06-02-16555 и НШ 1700.2003.3.

A22 Исследование характеристик эпитаксиальных слоев КРТ по спектрам пропускания

Болтарь К.О., Яковлева Н.И., Кашуба А.С., Удалова А.Г.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Измерены спектры пропускания эпитаксиальных слоев (ЭС) твердых растворов кадмий-ртуть-теллур (КРТ) в области волновых чисел ($5000 \text{ см}^{-1} < \nu < 500 \text{ см}^{-1}$) с разрешением 2 см^{-1} . Исследуемые ЭС КРТ р-типа проводимости, полученные методами жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на подложках CdZnTe, молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на подложках GaAs, эпитаксии из газовой фазы (МОС) на подложках GaAs имели концентрацию дырок $(0,8 \div 2,0) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и холловскую подвижность $\sim 400\text{-}600 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

Спектры пропускания образцов измерялись на ИК-спектрометрах марок IFS-113V и FTIR-8400S при температуре 300К. По спектрам пропускания рассчитывались параметры ЭС КРТ: толщина слоев d , граничная длина волны $\lambda_{0,5}$ поглощения излучения, состав x , ширина запрещенной зоны. Инструментальная погрешность определения волнового числа $\nu_{0,5}$ не превышала 2 см^{-1} , погрешность определения толщины не превышала 1 мкм, погрешность определения состава x в ЭС КРТ не превышала 0,002.

Разработана методика определения характеристик слоистых полупроводниковых структур по спектрам ИК пропускания и построена теоретическая математическая модель спектра пропускания, зависящая от коэффициента поглощения α [1] и ряда параметров: толщины, коэффициента отражения R для ЭС КРТ. Найдены среднеквадратическое отклонение экспериментально измеренной характеристики пропускания от теоретической и функция наилучшего приближения экспериментальной зависимости. Математическая модель позволяет уточнить расчетные параметры ЭС КРТ для температуры 80К.

На основе исследованных ЭС КРТ изготовлены фотодиоды, измерены их спектры fotocувствительности. Проведено сравнение и построена градуировочная прямая соответствия граничных длин волн спектров пропускания при $T=300\text{К}$ и граничной длины волны fotocувствительности фотодиодов при $T=80\text{К}$.

1. Finkman E., and Schachman S.E., The exponential optical absorption band tail of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ // J.Appl.Phys., - 1984. - Vol.56, N 10. - PP.2896-2900.

A23 Низкофоновые МФПУ на основе InSb

Чишко В.Ф., Касаткин И.Л., Лопухин А.А., Дирочка А.И., Кузнецов А.В.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Величина темнового тока фотоприемника определяет предельно достижимые значения пороговой чувствительности при малых величинах фонового потока. Кроме этого, в МФПУ с прямой инжекцией тока характеристики согласующего транзистора определяют возможности работы устройства при низких значениях инжектирующих токов.

Проведены измерения темновых токов при $T=77\text{К}$ фотодиодных матричных фотоприемных устройств формата 128×128 элементов с шагом 35 мкм и геометрическим размером фотодиода 30×30 мкм с тонкой и толстой базовой областью с использованием мультиплексора с емкостью накопления 10^{-12} Ф. Входные характеристики согласующего транзистора измерялись на короткозамкнутых фотодиодах МФП. Установлено, что коэффициент неидеальности ВАХ $m \leq 2$ в диапазоне токов $10^{-12} \div 10^{-9}$ А. Темновые токи МФП возрастают от центра к периферии матрицы, причем в МФП с тонкой базовой областью это возрастание гораздо больше, чем в МФП с толстой базовой областью. В области оптимальных обратных смещений для МФП с толстой базовой областью темновой ток не более $(2 \div 3) \cdot 10^{-12}$ А, в то время как для МФП с тонкой базовой областью он на порядок величины больше, что связано с влиянием механических напряжений на

параметры InSb. Оценка минимальной обнаруживаемой мощности для таких темновых токов дает значение $P_{min} \approx 10^{-15}$ Вт/эл при времени накопления $T_n \approx 1$ с и $P_{min} \approx (3 \div 5) \cdot 10^{-15}$ Вт/эл при $T_n \approx 10^{-1}$ с для МФП с толстой и тонкой базовыми областями, соответственно.

A24 Сравнение матричных ФПУ на основе InSb с различными типами охлаждаемых мультиплексоров

Чишко В.Ф., Касаткин И.Л., Лопухин А.А., Голубков А.В.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработаны матрицы различных форматов на область спектра 3÷5 мкм на основе антимионида индия. На этой базе созданы МФПУ: форматом 384x288 элементов и шагом 28 мкм с ИС ФГУП «НПО «Орион» (Москва), форматом 256x256 элементов и шагом 35 мкм с ИС ОАО «Микрон» (Зеленоград), форматом 128x128 элементов и шагом 35 мкм с ИС «НПО «Интеграл» (Минск), содержащие матрицу фотодиодов, кремниевую ИС считывания и обработки сигнала, состыкованных между собой при помощи индиевых столбиков.

Приведено описание и характеристики всех охлаждаемых кремниевых ИС: конструкция ячеек накопления, величина емкости накопления и организация режимов накопления, количество выходов и максимальная частота опроса, потребляемая мощность и т.д.

Проведены измерения зависимости величины шума, вольтовой чувствительности и минимально обнаружимой мощности от времени накопления для всех типов ИС.

A25 Особенности работы и характеристики МФПУ формата 128x128 и 256x256 на основе InSb в режиме «мгновенной фотографии» и конвейерного считывания

Чишко В.Ф., Касаткин И.Л., Лопухин А.А., Голубков А.В.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработано устройство для работы в режиме «мгновенной фотографии» МФПУ форматов 128x128 и 256x256. Приведена структурная схема устройства для работы в режиме «мгновенной фотографии», временные диаграммы работы устройства. Проведены измерения минимальной пороговой мощности в λ -максимуме МФПУ на область спектра 3÷5 мкм на основе антимионида индия с накоплением в ячейке мультиплексора, соединенного с матрицей фотодиодов индиевыми столбиками в этом режиме. Проведено сравнение полученных результатов с результатами, полученными в режиме конвейерного считывания.

Так как время накопления в режиме «мгновенной фотографии» меняется независимо от частоты работы МФПУ, можно оптимизировать тактовую частоту для обеспечения минимального уровня шума. Показано, что в режиме «мгновенной фотографии» возможно изменение времени накопления динамически без проведения перекоррекции.

Результаты измерений приведены в виде графиков зависимостей от времени накопления, напряжения смещения согласующего транзистора, а также приведены образцы тепловых изображений для различных режимов работы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 05-07 08006.

A26 Исследование характеристик матричного фотоприемника с тонкой базовой областью на основе InSb

Киселева Л.В., Савостин А.В., Мезин Ю.С., Чишко В.Ф., Касаткин И.Л., Лопухин А.А.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Изготовление матричного фотоприемника (МФП) из объемного материала требует утоньшения базовой области до толщины $10\div 20\text{ мкм}$ с тонкой базовой областью с применением промежуточной несущей подложки и утоньшение после стыковки МФП и мультиплексора. Процесс утоньшения включает химико-механическую полировку до толщины базовой области $100\div 80\text{ мкм}$ и химико-динамическую обработку до конечной толщины. Разработаны экологически чистые травители, совместимые с дальнейшими операциями нанесения анодного окисла с положительным встроенным зарядом на обработанную поверхность. Проведенные исследования состава поверхности методом ЭСХА показали отсутствие посторонних соединений, кроме собственных окислов индия и сурьмы. Неплоскостность поверхности при размере МФП порядка 10 мм не хуже $\pm 2\text{ мкм}$.

A27 Избыточные шумы в кремниевых pin-ФД большой площади

Забенькин О.Н., Хакуашев П.Е.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Выявлены основные типы шумов: периферийный, токового пробоя, фоновой засветки в многоэлементном кремниевом фотоприёмнике, работающем при высоком напряжении смещения

Как показал анализ, шум у большинства фотодиодов оказался периферийным, поэтому были проведены исследования таких фотодиодов, чтобы определить фактор, влияющий на стабильность шума. $S(f)$ характеристика позволила установить закономерность: нестабильными оказались фотодиоды с аномальными $S(f)$ -характеристиками. При отношении ёмкостей на частотах 2 кГц и 10 кГц , превышающих ~ 2 , напряжения шума нестабильно. Был введён параметр $S(2)/S(10) < 2$, который позволил определять процент выхода годных фотоприёмников.

Исследовано поведение темнового тока охранного кольца pin-фотодиода большой площади. Обнаружено два типа дефектов, приводящих к увеличению тока кольца (первый - инжекция периферийных носителей в кольцо; второй - неоптимальный выбор структуры). Проведённый анализ шумового процесса в pin-фотодиодах позволил разработать методику отбраковки фоточувствительных элементов на ранних стадиях его изготовления.

A28 Новый способ реализации фотодиода с широкой областью сбора заряда

Залетаев Н.Б., Сиваченко С.Д.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Экспериментально и теоретически показана возможность создания фотодиода с широкой областью объемного заряда на основе материала с низкой концентрацией уровней прилипания при больших концентрациях более глубоких примесей. Экспериментально эта возможность реализована в детекторах излучений на основе изолирующего алмаза (с концентрацией примесей $10^{17}\text{-}10^{18}\text{ см}^{-3}$) при комнатной температуре при ширине области объемного заряда порядка 300 мкм .

Проанализирована возможность реализации широкой области сбора заряда в диодах на основе кремния при низких температурах. Проведена теоретическая оценка возможных толщин области объемного заряда, показавшая возможность получения

толщин больших 1 см. Эффект может быть использован для разработки полупроводниковых детекторов слабопоглощаемых ионизирующих излучений (жесткий рентген, гамма, нейтроны), а также, вероятно, ИК-фотодиодов с увеличенной длинноволновой границей спектральной чувствительности.

A29 Вольт-фарадные характеристики МДП-структур

«металл – теллурид кадмия – КРТ»

Головин С.В., Кашуба А.С., Пермикина Е.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлены результаты исследования характеристик МДП-структур с диэлектриком теллуридом кадмия на эпитаксиальных слоях КРТ р-типа проводимости состава $X=0,2$. Слои КРТ были получены в ИФП СО РАН, Новосибирск, методом молекулярно-лучевой эпитаксии и представляли собой гетероэпитаксиальные структуры (ГЭС) на подложках из арсенида галлия. Покрытие теллурида кадмия толщиной 0,3 – 0,4 мкм наносилось методом «горячей стенки». Перед его нанесением с поверхности ГЭС химическим травлением удалялся слой толщиной около 2 мкм, который имел повышенный по сравнению с остальной частью состав и мог исказить результаты измерений. Металлические контакты создавались напылением молибдена и имели площадь 0,5 мм².

Измерения вольт-фарадных характеристик (ВФХ) МДП-структур проводились при помощи LCR-метра Hewlett-Packard Agilent 4285A на частотах от 1 до 10 МГц при температуре 77К. Напряжение смещения составляло от – 3 до +3В.

Результаты измерений показали, что ВФХ по виду отличаются от классических ВЧ- или НЧ-кривых, известных из литературы. Наблюдавшиеся характеристики объединяло то, что они имели вид «пиков», вершина которых в пределах точности измерений находилась при нулевом смещении. При уменьшении частоты измерений относительная высота максимума емкости как правило возрастала, и он становился более резким. На частоте 1 МГц величина емкости при нулевом смещении могла превышать ее значение при смещении +3 или – 3В в 10 раз и более.

Полученные результаты могут быть объяснены на основании модели изотипного р-р-гетероперехода между теллуридом кадмия и КРТ с барьером в валентной зоне в виде двойного обедненного слоя. Наличие обедненного слоя по обе стороны границы раздела связано с ее дефектностью и присутствием состояний донорного типа. Преобладающее влияние такого барьера на свойства рассматриваемого гетероперехода объясняется тем, что фундаментальный барьер, связанный с разрывом края валентной зоны, близок к нулю в соответствии с так называемым «правилом общего аниона».

A30 Теория генерационно - рекомбинационного шума, обусловленного туннелированием через ловушки в невырожденных р - n переходах на основе узкозонных твердых растворов (CdHg)Te

Селяков А.Ю.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Методом Ланжевена рассчитана спектральная плотность генерационно – рекомбинационного (ГР) шума $S_{Igr}(\omega)$, обусловленного характерным для р – n переходов на основе узкозонных твердых растворов (CdHg)Te механизмом захвата и выброса носителей в области пространственного заряда – туннелированием через ловушки (trap - assisted tunnelling – ТАТ). Установлено, что на частотной зависимости ГР шума, обусловленного ТАТ рекомбинацией (ТАТ GR шума) имеется два плато – высокочастотное и низкочастотное. При этом, на низких частотах $S_{Igr}(\omega)$ определяется

флуктуациями наиболее медленного процесса захвата и выброса носителей, в то время как на высоких частотах – флуктуациями захвата и выброса, как электронов, так и дырок. Показано, что в области высокочастотного плато TAT GR шум может быть сверхпуассоновским.

Проанализирована температурная зависимость $S_{IGr}(\omega)$. Установлено, что при понижении рабочей температуры, для всего низкочастотного участка $S_{IGr}(\omega)$ будет наблюдаться явление насыщения температурной зависимости, обусловленное сменой типа переходов, контролирующих наиболее медленный процесс захвата и выброса носителей, в то время как температурная зависимость высокочастотного участка $S_{IGr}(\omega)$ будет слабой. При этом, насыщение температурной зависимости низкочастотного участка $S_{IGr}(\omega)$ будет иметь место, как в состоянии термодинамического равновесия, так и в неравновесных условиях (при приложении обратного смещения). Показано, что малые обратные смещения ($< (2\div 3)kT$) могут приводить к существенному ($\propto (1 + \exp((q|V|)/(kT)))$) возрастанию низкочастотного и высокочастотного участков $S_{IGr}(\omega)$ и проанализированы причины, обуславливающие такую зависимость.

А31 Эффект подавления диффузионного тока $n^+ - p$ перехода в пикселах многоэлементных ИК фотоприемников, обусловленный трансляционной симметрией многоэлементной структуры

Селяков А.Ю.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В рамках двумерной модели проведено численное моделирование диффузионного тока $n^+ - p$ переходов на основе гетероэпитаксиальных структур из узкозонных твердых растворов (HgCd)Te, являющихся пикселами многоэлементных ИК фотоприемников. Установлено, что при малой толщине эпитаксиального слоя узкозонного полупроводника ($d < L_{Dn}$), малом расстоянии между соседними $p - n$ переходами ($\leq L_{Dn}$) и отсутствии поверхностной рекомбинации на границе раздела узкозонный полупроводник - диэлектрик и узкозонный полупроводник - подложка, диффузионный ток центральных пикселей многоэлементного ИК фотоприемника будет существенно меньше диффузионного тока единичного $n^+ - p$ перехода, созданного на основе той же самой гетероэпитаксиальной структуры. При этом, в обычно реализуемом случае, когда омические контакты к p области многоэлементной структуры не являются блокирующими и расположены на достаточно большом ($> L_{Dn}$) расстоянии от крайних пикселей, величина диффузионного тока центральных пикселей многоэлементного ИК фотоприемника будет близка к значению, рассчитанному в рамках одномерной модели $n^+ - p$ перехода с короткой базой (толщиной d) и блокирующим контактом для неосновных носителей (виртуально расположенным на границе раздела узкозонный полупроводник - подложка). В широком диапазоне L_{Dn} диффузионный ток $n^+ - p$ переходов крайних строк (столбцов) матриц и многорядных линеек ИК фотоприемников будет существенно превышать диффузионный ток центральных пикселей, а диффузионный ток $n^+ - p$ переходов, примыкающих к крайним пикселям изнутри, будет слабо отличаться от диффузионного тока центральных пикселей.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 05 - 02 - 08017).

А32 Избыточный диффузионный ток малоразмерных планарных $n^+ - p$ переходов на основе узкозонных твердых растворов $(\text{CdHg})\text{Te}$

Селяков А.Ю.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В рамках двумерной модели проведено численное моделирование диффузионного тока обратносмещенных $n^+ - p$ переходов на основе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ состава $x \approx 0.2$, линейные размеры которых ℓ являются характерными для пикселей крупноформатных ИК матриц, т.е. сопоставимы с диффузионной длиной электронов в материале p типа L_{Dn} . Показано, что диффузионный ток таких $p - n$ переходов существенно превышает величину, рассчитанную в рамках одномерной модели Шокли, причем распределение плотности диффузионного тока по границе раздела квазинейтральная область p типа – ОПЗ существенно неоднородно. Установлено, что избыточный диффузионный ток рассматриваемых $n^+ - p$ переходов обусловлен процессами генерации - рекомбинации в примыкающей извне к периметру $p - n$ перехода части базы, в то время как в рамках одномерных моделей принимаются во внимание процессы генерации - рекомбинации в части базы, непосредственно примыкающей к ОПЗ. Показано также, что в рассматриваемых $p - n$ переходах диффузионный ток линейно зависит от площади только в случае достаточно малых ($\ell < L_{Dn}$) и достаточно больших линейных размеров ($\ell \gg L_{Dn}$), а в промежуточном случае ($\ell \approx L_{Dn}$), диффузионный ток будет линейно зависеть от длины периметра $p - n$ перехода, а не от площади. Проанализировано влияние поверхностной рекомбинации на диффузионный ток рассматриваемого $p - n$ перехода.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 05 - 02 - 08017).

А33 Фотоприемник с термоэлектрическим охлаждением

Агаев З.Ф., Абдинов Д.Ш.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

В настоящей работе приведены результаты исследования фотоприемника с термоэлектрическим охлаждением на рабочую область спектра 3-5 мкм.

В качестве материала для чувствительных элементов использовались монокристаллы твердых растворов на основе $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ с $x = 0,28-0,30$.

Для охлаждения фоточувствительного элемента использован разработанный нами трехкаскадный термоэлектрический охладитель (ТЭО), обеспечивающий охлаждение на температурный уровень $\sim 200\text{K}$ при температуре окружающей среды 300K . Ветви термоэлементов каскадов ТЭО изготовлены из монокристаллов твердых растворов $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Bi}_2\text{Se}_3$ (n -ветвь) и $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3$ (p -ветвь), выращенных методом Бриджмена.

Расчет тепловых нагрузок и исследования их влияния на температуры теплопоглощающей поверхности (ТПП) показал, что для данной конструкции термоэлектрического охладителя и охлаждаемого объекта до давлений 10^1 Па в рабочем объеме тепловая нагрузка на ТПП определяется теплопритоком за счет теплопроводности газа заполняющий рабочий объем. Выше указанных давлений, в теплопритоке превалирует тепло, приносимой радиацией. Расчеты позволили выбрать оптимальную конструкцию ТЭО.

Фоточувствительный элемент фотоприемника представляет собой одноэлементный резистор из монокристаллических образцов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Отбор материала для фоточувствительного элемента осуществлялся путем исследования температурных зависимостей фотосигнала и времени жизни неосновных носителей заряда. Показано, что для ($x = 0,30$) максимум удельной обнаружительной способности соответствует температуре ~ 200 К. Фоточувствительный элемент фотоприемника с ТЭО выполнен в

планарном исполнении с применением методов фотолитографии для создания необходимой топологии чувствительного элемента.

Установлено, что величина удельной обнаружительной способности разработанного фотоприемника, при $\sim 200\text{K}$ на длине волны $\lambda=4,5$ мкм составила $D_{\lambda,\text{max}} \geq 1 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$, темное сопротивление $R=400-1000$ Ом, время выхода прибора на режим – 70 с, ток питания ТЭО – 1 А, потребляемая мощность ТЭО – 5,5-6,0 Вт, холодопроизводительность 100- 120 мВт, размеры охлаждаемой площадки $4 \times 7 \text{ мм}^2$.

Разработанный фотоприемник с встроенным ТЭО подвергался влиянию внешних факторов, предусмотренных для приборов данного типа: на вибропрочность, устойчивость к многократным ударам, устойчивость к одиночным ударам, на теплоустойчивость, на холодоустойчивость, к воздействию смены температуры, минимальную наработку (на безотказность, долговечность и сохранность вакуумоплотности).

Установлено, что после проведения указанных видов испытаний фотоприемник сохранил свои основные параметры.

А34 Выращивание эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ и CdTe на подложках CdZnTe различных кристаллографических ориентаций методом химического осаждения из паров металлоорганических соединений и исследование их свойств

¹Котков А.П., ¹Гришнова Н.Д., ¹Моисеев А.Н., ²Денисов И.А., ²Смирнова Н.А.,
²Шматов Н.И., ³Жаворонков Н.В.

¹*Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия*

²*ФГУП «ГИРЕДМЕТ», Москва, Россия*

³*ЗАО «НИИ Материаловедения», Зеленоград, Россия*

Цель работы состояла в изучении влияния природы материала и ориентации поверхности подложки на скорость роста, кристаллическое совершенство и морфологию поверхности эпитаксиальных слоев (ЭС) CdTe и $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$.

Для проведения исследований использовали подложки CdZnTe полученные методами ВНК и вакуумной сублимации ориентации (111)А, (111)В, (310). Для сравнения использовали подложки из арсенида галлия (GaAs) с той же ориентацией поверхности, на которые предварительно наносились буферные слои CdTe . Кристаллическое совершенство осаждаемых слоев характеризовали значением полуширины кривой качания, измеренной методом двухкristальной рентгеновской дифракции.

Осаждение проводили в вертикальном кварцевом реакторе в потоке водорода, при температуре $350 \div 360^\circ\text{C}$. Слои CdTe выращивали из паров диметилкадмия и диэтилтеллура, слои HgTe – из паров диизопропилтеллура и Hg , слои $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ - послойным методом (ИМР) [1].

Для удаления окисного слоя с поверхности подложек проводили их предростовой отжиг. Подложки CdZnTe ($\text{ZnTe}=2 \div 4 \%$) для предотвращения растравливания поверхности отжигали в более мягких условиях ($T \sim 400^\circ\text{C}$), чем подложки из GaAs ($T \sim 600^\circ\text{C}$).

Скорость роста слоев CdTe в исследованных условиях зависит от ориентации подложки: $V(111)A < V(111)B < V(310)$. Скорость роста слоев HgTe в пределах ошибки измерения не зависит от ориентации подложки. Поэтому при выращивании в одинаковых условиях слои $\text{CdHgTe}(310)$ имеют более высокое содержание CdTe в своем составе, чем $\text{CdHgTe}(111)B$.

Слои $\text{CdHgTe}(111)A$ имеют матовую поверхность с высокой концентрацией фигур роста, слои $\text{CdHgTe}(111)B$ и $\text{CdHgTe}(310)$ – зеркальную поверхность, причем слои ориентации (310) обладают более высоким качеством поверхности, чем (111)В.

Кристаллическое совершенство слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($d=9\div 11$ мкм), выращенных на подложках CdZnTe , заметно выше ($1,5\div 2$ угловых мин.), чем слоев на подложках GaAs ($2\div 5$ угловых мин.).

Слои $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x=0,2\div 0,3$) сразу после осаждения имели р-тип проводимости с концентрацией дырок $p_{77}=(0,5\div 2)\times 10^{17}$ см^{-3} и подвижностью $120\div 300$ $\text{см}^2/(\text{в}\times\text{с})$.

Проведенные исследования показали, что:

- эпитаксиальные слои $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, выращенные на подложках CdZnTe , имеют более высокое кристаллическое совершенство, чем слои, выращенные на подложках GaAs ;

- ориентация поверхности подложек оказывает заметное влияние на скорость осаждения слоев CdTe , состав “ x ” и морфологию поверхности слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$.

[1] – Irvine S.J.C., Tunncliffe J. and Mullin J.B.// Mater. Lett. 1984.V.2. N 4B. P 305.

A35 Субматричный КМОП мультиплексор формата 576x16 для гибридного ФПУ

Аветисян Г.Х., Бородин Д.В., Брашеван Ю.В., Завадский Ю.И., Осипов Ю.В., Крошин В.М., Чернокожин В.В.

ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия.

ГНП РКЦ «ЦСКБ «Прогресс», Самара, Россия

Разработана и изготовлена субматричная КМОП микросхема считывания и предварительной обработки сигнала с субматричных фотоприемников. Основные полученные параметры и функциональные возможности мультиплексора:

- Период расположения входов в строке, мкм – 20
- Период расположения строк, мкм – 280
- Зарядовая емкость ячейки, электронов – 5×10^5
- Собственный шум, электронов – 150
- Диапазон изменения выходного сигнала, В – не менее 2
- Максимальная тактовая частота, МГц – не менее 4
- Количество дифференциальных выходов – 4
- Двойная коррелированная выборка.
- Режим функционирования – Snapshot.
- Рассеиваемая мощность при максимальной тактовой частоте, мВт – не более 10.
- Размер кристалла, мм – 12,4 x 6,4

Мультиплексор изготовлен по КМОП технологии 1,2 мкм один поликремний, два металла, подзатворный окисел 250А. Дополнительной сложностью при проектировании топологии микросхемы явилось требование к наличию определенным образом расположенным, прозрачным в ИК-области (то есть без металлизации), участкам топологии.

Измерение аналоговых выходных напряжений и ввод информации в компьютер для последующей обработки осуществлялся при помощи базового модуля АМВРСІ v2.0 и submodule аналогового ввода АDМ214x10М (ЗАО «ИнСис»), созданного на базе 14 разрядного АЦП с максимальной частотой дискретизации 10 МГц.

Собственный шум микросхемы определялся по результатам измерений 50 последовательных кадров. Информация сохранялась на жестком диске компьютера и дальнейшая обработка проводилась с использованием программы MathCAD автоматически.

На основе мультиплексора и субматричного фотоприемника на основе антимонида индия с толстой базой создается ФПУ с режимом функционирования ВЗН на внешних устройствах.

А36 Гетеродинные фотоприемные устройства с микрокриогенными системами охлаждения

Болтарь К.О., Бурлаков И.Д., Головин С.В., Ложников В.Е., Мансветов Н.Г.,
Мансветова Т.М., Терехович Т.Ф.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Исследованы одноэлементные и многоэлементные гетеродинные фотоприемные устройства (ГФПУ) на основе КРТ фотодиодов, размещенных в холодной зоне микрокриогенной системы (МКС), работающей по циклу Стирлинга, предназначенные для гетеродинного приема излучения CO₂-лазера и преобразования его в электрический сигнал.

Для обеспечения стабильности температуры охлаждаемого узла ГФПУ в различных условиях эксплуатации использован датчик температуры (кремниевый диод), включенный в цепь обратной связи МКС. Разработанная схема подавления наводок по цепи датчика температуры обеспечивает пороговые фотоэлектрические характеристики не хуже, чем у гетеродинных ФПУ, охлаждаемых жидким азотом^[1]. Для измерения мощности падающего гетеродинного излучения и контроля работоспособности ГФПУ использованы низкочастотный усилитель постоянного тока фотодиода и компаратор. Охлаждаемый узел ГФПУ помещается в высокочастотный вакуумный криостатируемый корпус, собранный совместно с электронными блоками ГФПУ в единый металлический модуль для обеспечения высокой помехозащищенности от электромагнитных наводок.

Верхняя граничная частота одноэлементного ГФПУ с диаметром фотоприемной площадки 0,2 мм составляет 60 МГц по уровню 3 дБ, пороговая чувствительность на длине волны 10,6 мкм на частоте 60 МГц - $8 \cdot 10^{-20}$ Вт/Гц.

Применение матрицы формата 5x5 элементов с шагом 0,2 мм с 25-ю усилителями промежуточной частоты позволяет сконструировать оптическую систему таким образом, чтобы каждый фотодиод ГФПУ принимал однородный по фазе фрагмент волнового фронта, искаженного за счет неоднородности атмосферы. Пороговая чувствительность каждого элемента ГФПУ на длине волны 10,6 мкм на частоте 30 МГц не превышает $2 \cdot 10^{-19}$ Вт/Гц, верхняя граничная частота по уровню 3 дБ составляет не менее 30 МГц.

1. V.E.Lochnikov, K.O.Boltar, I.D.Bourlakov, S.V.Golovin, N.G.Mansvetov, LWIR heterodyne HgCdTe detectors // Proceeding of SPIE, Vol.4340, p.p.81-84, 2000.

А37 Фотоприемники ИК-излучения на основе кремния, легированного цинком

Султанов Н.А., Султанова Ш.Н.

*Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан
712028, ул. Ферганская 86, тел:222-13-33, 222-13-30, факс:222-27-81,
e-mail:kutub-02@farpi.uz*

Пластины кремния, компенсированного цинком, используются для создания пространственно-временных модуляторов света (ПВМС) со структурой металл-диэлектрик - полупроводник - диэлектрик - металл (МДПДМ), обладающих чувствительностью в широком диапазоне длин волн от 0,4 до 4 мкм.

На структуру подается импульс напряжения от источника напряжения. Возникающее при этом электрическое поле обедняет полупроводниковый слой носителями заряда. Время существования обедненного состояния определяется скоростью экранирования поля в полупроводнике за счет термогенерации носителей и в структурах на основе Si (Zn) при температуре – 150⁰С(точки кюри электрооптического кристалла дигидрофосфат калия КДР) составляет 0,1-10с. Освещение ПВМС записывающим светом приводит к увеличению скорости генерации носителей в полупроводнике и;

следовательно, к более быстрой переброске напряжения с полупроводникового слоя на диэлектрические слои, в частности на электрооптический слой. Таким образом, на электрооптическом слое формируется потенциальный рельеф, отображающий распределение интенсивности света в записываемом изображении. Под действием этого потенциального рельефа в электрооптическом слое осуществляется фазовая модуляция считывающего света, поступающего со стороны полупрозрачного электрода и затем отражающегося от интерференционного зеркала. Светоблокирующий слой предохраняет полупроводник от воздействия считывающего излучения, прошедшего через зеркало. Фазовая модуляция считывающего света преобразуется в амплитудную с помощью стандартной проекционной аппаратуры.

Легирование кремния Zn, осуществлялось в откаченных (до 10^{-4} мм.рт.ст.) кварцевых ампулах.

Температура и время диффузии в зависимости от конкретной задачи варьировались $T_D = 800^{\circ} - 1050^{\circ}C$ и $t_D = 2 \div 8$ часов. Изготовлены образцы пластинок кремния, легированного Zn диаметром $\varnothing = 10 - 30$ мм, толщиной $d = 1 - 3$ мм, зеркально полированной поверхности. Они будут реализованы как фотоприемники ИК-излучения, работающие с фоточувствительностью в интервале $h\nu = 0,3 \div 0,5$ эВ.

Измерения спектров DLTS показали, что в диодах из $p - Si(Zn)$ наблюдаются два ГУ с энергиями ионизации $E_a(A) = E_V + 0,28$ и $E_a(B) = E_V + 0,62$ эВ. Концентрации обеих уровней А и В были одинаковыми во всех исследованных диодах. Сечения захвата для дырок σ_p на эти ГУ были вычислены из кинетики эмиссии дырок в $p - Si(Zn)$, оказались равными $\sigma_p(A) = 1 \cdot 10^{-14}$ и $\sigma_p(B) = 2 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$, а сечения захвата для заполнения ГУ в $n - Si(Zn)$; равен $\sigma_n(A) = 1 \cdot 10^{-16}$ и $\sigma_n(B) = 2 \cdot 10^{-21} \text{ см}^2$ и 10^{-20} см^2 при 77 и 200К соответственно. Такие малые σ_n соответствуют захвату на отрицательно заряженное двойное акцепторное состояние атомов цинка в узлах решетки кремния. Это согласуется с высокой чувствительностью фоторезисторов из $Si(Zn)$ при сравнительно большой их инерционности.

Таким образом, фоторезисторы из $Si(Zn)$ имеют высокую чувствительность в широком диапазоне длин волн, что весьма привлекательно для создания ПВМС со структурой MDPDM.

А38 Поверхностно-барьерный фотодиод на основе фосфида галлия для ультрафиолетовых радиометров и дозиметров

Биксей М.П., Добровольский Ю.Г., Шабашкевич Б.Г.

ООО НПФ «Тензор», Черновцы, Украина

В рамках украинской «Национальной программы улучшения состояния безопасности, гигиены труда и производственной среды на 2001–2005 годы» научно-производственной фирмой «Тензор» разработан фотодиод на основе фосфида галлия для комплектации средств измерительной техники, предназначенной для измерения характеристик ультрафиолетового излучения, создаваемого различными естественными и используемыми в производстве источниками ультрафиолетового излучения.

Следует учитывать, что наличие чувствительности фотоприемника за пределами измеряемых поддиапазонов спектра, недостаточная линейность энергетической характеристики в рабочем диапазоне энергетической освещенности и температурная нестабильность могут привести к искажению результатов измерений на нужных длинах волн. В связи с этим разработана конструкция фотодиода на основе фосфида галлия, область спектральной чувствительности которого 220 - 450 нм. Площадь его фоточувствительного элемента составляет $\sim 20 \text{ мм}^2$. Потенциальным барьером,

разделяющим фотогенерированные носители заряда в нем, служит поверхностный барьер между токопроводящей пленкой окисла металла и фосфидом галлия [1]. Разработанный фотодиод характеризуется более высокой чем у аналогов чувствительностью – до 0,25 А/Вт в максимуме спектральной характеристики, что позволяет обеспечивать достаточную чувствительность средств измерительной техники, разрабатываемых на его основе при потоках 10^{-4} Вт/м² в поддиапазоне «С» (220 – 280 нм). Нелинейность фотодиода в диапазоне 10^{-4} – 200 Вт/м² не превышает 1 %, а температурная ошибка не превышает $\pm 0,5$ % на 1 °С.

На основе разработанного фотодиода созданы радиометр Тензор-31 и ряд дозиметров: Тензор-51 для контроля бактерицидной составляющей, Тензор-52 для контроля эритемной составляющей и Тензор-53 для совместного контроля бактерицидной и эритемной составляющих ультрафиолетового излучения, которые обеспечивают контроль санитарно-гигиенических условий труда при наличии повышенного ультрафиолетового излучения. Радиометр позволяет выбирать и устанавливать как диапазон измерений, так и тип источника излучения – «ртутный», «дейтериевый», «дуговой». Кроме того, радиометр позволяет вводить параметры источника излучения, характеристики которого отличаются от стандартного.

Созданные приборы для контроля характеристик ультрафиолетового излучения рекомендованы Институтом медицины труда АМН Украины для использования при проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы оборудования, в санитарной практике для оценки параметров ультрафиолетового излучения производственных источников на рабочих местах. Приборы могут использоваться для оснащения метрологических служб Госстандарта, исследовательских лабораторий охраны труда, а также при экологическом мониторинге и в медицинской целях. Кроме того, разработанные приборы могут найти широкое применение при измерении мощности монохроматического излучения в спектральном диапазоне 220 - 400 нм и индивидуальной дозиметрии эритемного и бактерицидного ультрафиолетового излучения.

Литература

М.П. Биксей, Ю.Г. Добровольский, Б.Г. Шабашкевич. Фотоприемник ультрафиолетового излучения на основе фосфида галлия//Прикладная физика. -2005. -№ 4. -с.97-100.

А39 Информационная модель ФПУ

Астахов В.П., Долганин Ю.Н., Карпов В.В., Савченко М.А., Скворцов С.В.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

В работе предлагается информационная модель ФПУ, позволяющая на основе системы параметров приёмников излучения и алгоритма их обработки определять показатели качества опико-электронных приборов (ОЭП), использующих ФПУ.

Разработанная модель дает возможность найти расчетно-экспериментальным методом основные характеристики ОЭП с ФПУ (минимальную разрешаемую разность температур, эквивалентную шуму разность температур в условиях различной фоновой нагрузки).

Модель обладает следующими особенностями:

1) Позволяет учесть неоднозначность перехода от характеристик ФПУ к показателям качества ОЭП, а именно:

-в части несоответствия критерия равенства среднеквадратических значений (СКЗ) сигнала и шума при определении удельной обнаружительной способности (ГОСТ 17772-88) и критерия равенства пикового значения сигнала и СКЗ шума при определении разности температур, эквивалентной шуму – NETD (ГОСТ 27675-88);

- при определении эквивалентной шумовой полосы (входящей в параметр NETD), которая в ГОСТ 27675-88 приводится ко времени накопления с чувствительного элемента ФПУ без указания критерия принятия решения по сигналу (по форме или амплитуде);

- в части неопределенности понятия «протяженного объекта» в NETD.

2) В модели приводится алгоритм учёта «пеленгационной» функции многоэлементного ФПУ с перекрывающимися эффективными площадками при определении коэффициента фотоэлектрической связи и температурно-частотной характеристики ОЭП.

3) Модель позволяет провести учёт влияния низкочастотной и высокочастотной составляющих спектра шума ФПУ, а также квантового выхода чувствительных элементов на показатели качества ОЭП.

Показана универсальность предлагаемой информационной модели при расчете показателей качества ОЭП на основе разрабатываемых ФПУ (с топологией: фотодиодная InSb многорядная линейка 288x32 и фотодиодная КРТ многорядная линейка 288x4).

А40 Физические и материаловедческие аспекты интегральной оптоэлектроники

Ермаков О.Н.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

Обсуждаются физические и материаловедческие аспекты (адекватный выбор материалов и подложек, различные физические эффекты и их влияние на ограничения современных методов моделирования) интегральной оптоэлектроники.

Анализ современных тенденций развития микроэлектроники и оптоэлектроники показывает, что жёсткие границы между микроэлектроникой и оптоэлектроникой стираются. Широкий диапазон материалов, использованный ранее только в оптоэлектронике (соединения $A^3 B^5$, $A^2 B^6$, $A^4 B^4$, алмазы и органические соединения) [1] стали представлять интерес и для разработчиков СБИС.

Адекватный выбор подложек очень важен для интегральной оптоэлектроники. Несмотря на то, что в оптоэлектронике в настоящее время используется широкий набор различных подложек (органические и неорганические, кристаллические и аморфные, гибкие и жёсткие), предпочтительными для интегральной оптоэлектроники являются оптически прозрачные и изолирующие подложки.

Один из таких типов подложек, а именно сапфир представляет в настоящее время большой практически интерес вследствие того, что структуры кремния на сапфире (КНС) используются для реализации БИС, а структуры нитрида галлия (ГНС) и его твёрдых растворов используются для изготовления сверхярких СИД, ЛД и фотоприёмников.

Представлен сравнительный анализ структур КНС и ГНС рассматриваемых как модельные системы, для интегральной оптоэлектроники.

Подчёркивается, что эпитаксиальные структуры на подложках сапфира следует рассматривать как единую оптическую систему, каждая часть которой (полупроводниковые слои и подложка) способны играть активную роль.

Рассмотрены оптические (люминесценция, пропускание) и фотоэлектрические характеристики упомянутых выше модельных систем. Обсуждается природа сверхтонкой структуры серии резких линий, наблюдаемых в спектрах люминесценции структур.

Обсуждаются различные физические эффекты (эффекты зонной структуры, квантово – размерные эффекты, разогрев носителей, эффекты микронапряжений), а также ограниченность современных методов моделирования оптоэлектронных и микроэлектронных приборов.

1. Ермаков О.Н. Прикладная оптоэлектроника. М.: Техносфера . 2004 г.

А41 Методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов матричных ФПУ без калибровки по геометрическому шуму

¹Бехтин Ю.С., ¹Баранцев А.А., ¹Брянцев А.А., ²Соляков В.Н., ²Сагинов Л.Д.

¹Рязанская государственная радиотехническая академия, Рязань, Россия

²ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассматриваемые методы и алгоритмы были получены по итогам совместной работы при создании аппаратно-программного комплекса, состоящего из матричного фотоприемного устройства (МФПУ) на основе микроболометров, платы аналогово-цифрового ввода-вывода АМВРСІ и персонального компьютера [1]. Разработанное программное обеспечение (ПО) позволяло проводить предварительную калибровку неоднородности чувствительности элементов МФПУ по оптическим сигналам от источников с низкой и высокой температурами. Были также разработаны алгоритмы периодической калибровки, поскольку коэффициенты передачи фотоэлементов (геометрический шум чувствительности) могут значительно изменяться (дрейфовать) в рабочем режиме. Прерывания рабочего режима на калибровку - всегда нежелательное действие, поэтому была поставлена задача разработать методы и алгоритмы обработки ИК-изображений, которые обеспечили бы минимизацию геометрического шума при увеличении в несколько раз интервала между калибровками.

В результате предложено несколько методов и алгоритмов на их основе, которые решают поставленную задачу. В основу разработанных алгоритмов положен принцип выявления уровней однородности текстур изображения и использования их в качестве интенсивностей калибровочных полей. Для выявления уровней однородности можно использовать различные подходы, в частности, построение гистограмм и ковариационных матриц по кадру. Признаком необходимости пересчета коэффициентов передачи является превышение некоторого порога для разности между текущей и предыдущей оценками оригинала изображения. При этом оценка оригинала изображения вычисляется через приведенный коэффициент передачи, рассчитанный по максимальному значению сигнала в кадре.

Основная идея другого метода заключается в поочередной оценке изображения и геометрического шума чувствительности, который рассматривается как мультипликативный шум с нормальным распределением относительно единицы. Алгоритм носит рекуррентный характер и учитывает значения коэффициентов передачи фотоэлементов, полученные при предварительной калибровке.

Получены результаты машинных экспериментов при разных моделях дрейфа коэффициентов передачи, способах выбора уровней однородности; зависимости точности оценивания коэффициентов передачи от скорости и направления их дрейфа, уровня тепловых шумов и темновых токов элементов матрицы и т.п.

Рассматриваются вопросы по программной реализации рекуррентного алгоритма и последующей модификации ПО для действующего аппаратно-программного комплекса [1] и его реализации с использованием различных средств цифровой обработки сигналов.

1. Бехтин Ю.С., Баранцев А.А., Соляков В.Н., Медведев А.С. Построение аппаратно-программных комплексов цифровой обработки изображений фотоэлектронных модулей // Тезисы XVIII-й МНТК по фотоэлектронике и приборам ночного видения. – М., 2004.

А42 БолOMETрический пирометр

Жуков А.Г., Олихов И.М., Мазеев В.А., Ворович Э.Б., Левашов А.Н.
ФГУП «НПП «Исток», Фрязино, Московская обл., Россия

В подавляющем большинстве существующие пирометры работают на переменном сигнале. В этом случае проще устранить дрейф сигнала и помехи в нем. Такой подход требует использования устройств модуляции сигнала, что усложняет конструкцию прибора и увеличивает его габариты. В настоящем сообщении приводятся данные о фотоприемном устройстве, работающем на постоянном сигнале. Устройство регистрации сигнала собрано на микросхеме АД7730 фирмы «Analog Devices». Микросхема предназначена для регистрации малых напряжений. В данном случае она применена для измерения малых сигналов, возникающих в болометрических цепях. В состав микросхемы входит маломощный усилитель с программируемым коэффициентом усиления, многоразрядный цифровой фильтр, сигма-дельта АЦП, цепи стабилизации чувствительности, схемы управления и интерфейса с внешними устройствами. Микросхема запрограммирована для работы с полосой 1 Гц. Подавление вне полосы пропускания не хуже 80 дБ. Реальная разрядность АЦП не хуже 15,5 разрядов в вышеуказанных режимах. Данная микросхема практически оптимально подходит для измерения слабых сигналов от болометров сопротивлением 100–200 кОм при величине приложенного напряжения около 1 В.

В описываемом устройстве использованы микроболометры на основе соединения Ti [1]. Обнаружительная способность болометров составляет $(6-7) \cdot 10^7 \text{ Вт}^{-1} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2}$ на частоте 30 Гц при постоянной времени около 0,1–0,01 с. Болометры имеют матричную организацию форматом 8×8, размер пиксела 0,07×0,1 мм, шаг матрицы 0,116 мм. Под болометрическими слоями предусмотрены полости для устранения теплового контакта болометра с подложкой и обеспечения требуемой постоянной времени. Матрица содержит один рабочий элемент и 2 резервных. Еще один, компенсационный, болометр имеет тепловой контакт с подложкой и значительную постоянную времени. Температура подложки стабилизируется ТЭО устройством, поставленным фирмой RMT вместе с 12-штырьковым вакуумноплотным корпусом ТО8. Температура ТЭО элемента, поддерживается ПИД-регулятором, реализованным на микроконтроллере MSP430F149 фирмы «Texas Instruments». В корпусе смонтирован нераспыляемый ленточный газопоглотитель типа St 101/STAM/2Д strip фирмы SEAS Getters.

По сигналам от объектов с температурой 30 и 200°C определен порог чувствительности разрабатываемого пирометра, который равен 0,13°C.

Для выставления необходимых показателей пирометра по чувствительности и по уровню сигнала предусмотрены образцовые опорные излучатели, управляемые извне.

Разрабатываемый пирометр предполагается использовать в тепловизоре на пировидиконе при калибровке абсолютных измерений температур. Разрабатываемый пирометр имеет габариты: диаметр 15 мм, высота 9 мм, масса 50 г., его показатель визирования 1: 180.

Литература

1. Жуков А.Г. и др. «Болометрические структуры на основе соединения титана». Тезисы доклада на XVIII международной конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения.

А43 Система автоматического измерения фотоэлектрических параметров многоэлементных фоторезисторов на основе КРТ

Курбатов А.В., Ларцев И.Ю., Резвина Н.В., Чеканова Г.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

111123, ул. Плеханова, д. 2/46, строение 5

Разработана и внедрена аппаратура для исследований характеристик и проведения приемо-сдаточных испытаний серийных многоэлементных фоторезисторов на основе КРТ. Система имеет 32 измерительных канала и обеспечивает одновременное подключение и измерение до 32 фоточувствительных элементов.

Реализована одновременная и независимая подача питания на все или отдельно выбранные фоточувствительные элементы. Величина и полярность этого питания для каждого канала задается из программы управления системы.

Спектральная плотность напряжения собственного шума - не более $0,7 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ на частоте 1 кГц. Диапазон рабочих частот – от 3 Гц до 160 кГц.

Обеспечиваются измерения и вычисления основных параметров фоторезистора, регистрация спектра шума, снятие вольтамперной характеристики, построение графиков распределения параметров от напряжения питания и по номерам фоточувствительных элементов, документирование полученных результатов.

А44 Исследование корректируемости МФПУ на основе фотодиодов из КРТ

Полунеев В.В., Болтарь К.О., Рудневский В.С.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Важнейшим параметром МФПУ ИК-диапазона является температурное разрешение, значение которого ограничивается суммарной величиной временного и геометрического шума. Проведение простейшей двухточечной коррекции позволяет снизить уровень геометрического шума ниже уровня временного шума. Качество проведенной коррекции можно охарактеризовать коэффициентом корректируемости, определяемым как отношение геометрических шумов МФПУ к значению временного шума. Однако временная нестабильность темновых токов и вольтовой чувствительности элементов МФПУ, обусловленных изменениями их температуры, а также температуры диафрагмы и входного окна МФПУ, адсорбции остаточных газов в вакуумном корпусе, флуктуацией пороговых напряжений транзисторов кремниевой БИС и других причин приводит к постоянному увеличению коэффициента корректируемости через некоторое время после проведения процедуры двухточечной коррекции.

Исследована временная стабильность МФПУ смотрящего типа форматов 128x128, 256x256 и 384x288 элементов на диапазон длин волн 8...12 мкм. Измерено время долговременной стабильности, определяемое как время, при котором значение коэффициента корректируемости достигает значения равного единице.

Для определения факторов, определяющих долговременную стабильность, исследовались МФПУ различных форматов, как с охлаждением от микрокриогенных систем типа Сплит-Стирлига, так и заливные варианты приемников, охлаждаемые жидким азотом. Исследованы временные изменения разности температуры эквивалентной шуму (NETD) МФПУ смотрящего типа форматов 128x128, 256x256 и 384x288 элементов диапазона длин волн 8...12 мкм.

А45 Влияние последовательного сопротивления и поверхностных состояний на $I-V$ $Al_{0.24}Ga_{0.76}As/GaAs$ pin-фотодиода

¹Алтиндал С., ¹Озселик С., ¹Бенджи А., ^{1,2}Маммадов Т.С.

¹Гази университет, физический факультет, Анкара, Турция

²Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджана

А46 Фотовольтаическая чувствительность пленок CdTe, легированных примесью индия

Каримов М.А., Исмоилов И.К., Пулатов Н.Г., Юлдашев Н.Х.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

e-mail:kutub-02@farpi.uz

Работа посвящена разработке технологии легирования примесью индия поликристаллических пленок $CdTe$ с аномальным фотовольтаическим (АФВ) свойством, позволяющая увеличить фотонапряжение на порядок, а ток короткого замыкания более чем на два порядка.

Тонкие поликристаллические пленки $CdTe$, генерирующие аномально большие фотонапряжения (АФН, порядка $V_{АФН} = 10 \div 10^3$ В/см), трудно поддаются к легированию для целенаправленного управления АФВ свойством. Очень слабый фототок короткого замыкания $I_{к.з.} \approx 10^{-10}$ А в этих пленках сдерживает их практическое применение в оптоэлектронике и фотопреобразовательной технике. Целью работы явилась исследование АФВ эффекта в легированных примесями In тонких поликристаллических слоях $CdTe$ с целью повышения рабочей мощности пленок как источника фото-ЭДС.

Тонкие косонапыленные слои $CdTe$ легировались непосредственно во время их выращивания методом термического испарения в вакууме $10^{-4} \div 10^{-5}$ мм. рт. ст. путем препарирования $CdTe$ и In из отдельных тиглов. Исходная масса напыляемой примеси обычно составляла $3 \div 7$ вес. % от массы основного полупроводниковое соединения. Испарение In задерживалось на $2 \div 3$ мин и прекращалось на $3 \div 5$ мин раньше, чем испарение основного материала. Температура стеклянной подложки варьировалась в пределах $200 \div 500$ К. Свежеприготовленные поликристаллические образцы $CdTe:In$ с толщиной $d \approx 0.8 \div 1.5$ мкм и площадью 5×20 мм² оказались более низкоомными и относительно слабо выражались АФВ свойствами ($V_{АФН} = 50 \div 100$ В). Однако после термической обработки (ТО) в вакууме сопротивление образцов в 2-3 раза увеличивалось и в то же время при комнатной температуре они генерировали максимальное фотонапряжение до значений $(2 \div 4) \cdot 10^3$ В, т.е. на порядок больше, чем у специально нелегированных образцов $CdTe$ (где $V_{АФН} = 200 \div 600$ В), а фототок короткого замыкания увеличивался более чем на два порядка и достигал до $I_{к.з.} \approx 10^{-8}$ А.

Ход кинетики термического очувствления фотовольтаического свойства всех образцов обнаруживает одинаковую закономерность: сначала с ростом времени ТО монотонно растет значение $V_{АФН}$, достигает максимального значения $\sim 3.5 \cdot 10^3$ В, а при дальнейшей ТО $V_{АФН}$ со временем почти экспоненциально уменьшается.

Во время ТО легированной пленки $CdTe:In$, по-видимому, происходит самокомпенсация примесных центров в объеме и на поверхности кристаллического зерна, в результате термополевой миграции образуются компенсированные центры, зарядовая емкость поверхности и области пространственных зарядов уменьшается, их асимметричность увеличивается, чем и обусловлено наблюдаемое увеличение на порядок максимального значения фотонапряжения $V_{АФН}$. Мощность исследованных пленок $CdTe:In$ в качестве фотогенератора напряжения в ближней ИК-области увеличивается более чем на два порядка по сравнению с аналогичной пленкой из $CdTe$.

А47 Цифровой модуль многоканальной обработки сигналов изображений различных спектральных диапазонов

Бодров В.Н., Рыков А.Н.

ГОУВПО Московский энергетический институт (ТУ), Москва, Россия

Уровень требований к современным средствам приема, обработки и отображения видеoinформации постоянно растет в связи с необходимостью более эффективно решать поставленные задачи в тяжелых условиях наблюдения: при весьма низком уровне естественной освещенности, при наблюдении в мутной водной среде, при неудовлетворительных погодных условиях и так далее. В связи с этим в последнее время прослеживается тенденция к использованию многоканальных видеoinформационных систем. Переход к многокамерным устройствам и, так называемым, устройствам «фасеточного» типа открывает новые перспективы их применения. При этом отображение получаемой информации должно осуществляться, как правило, на мониторе в виде единого изображения. Другой перспективной задачей таких процессорных средств является совмещение на экране изображений приемников различных форматов и различных спектральных диапазонов, например, ТВ камеры и тепловизора.

В работе рассматривается один из вариантов цифрового модуля, способного осуществлять обработку сигналов двух изображений. Использование двух каналов позволяет вести наблюдение одновременно в двух спектральных диапазонах, например, видимом и инфракрасном, реализуя при этом сочетание положительных качеств каждого из приемников. На фоне телевизионного сюжета с высоким пространственным разрешением можно наблюдать отмасштабированное термоизображение той же сцены.

Двухканальный автономный процессорный модуль реализован на базе 4-х слойной печатной платы размером 160 x 90 мм. Ядром модуля является программируемая логическая матрица (ПЛМ) типа *EP1C12Q240C7-8* (компания «Altera»). Устройство является развитием более ранней версии процессора реального времени [1]. Сигналы изображений оцифровываются 12-и разрядным АЦП и загружаются в ПЛМ, где происходит его обработка и формирование импульсных временных последовательностей. ПЛМ позволяет проводить в реальном масштабе времени весьма сложную цифровую обработку, включая алгоритмы адаптивной фильтрации и быстрого прямого и обратного преобразований Фурье. Процессор позволяет изменять, при необходимости, формат тепловизионного изображения для последующего совмещения на экране ТВ монитора. Таким образом, в течение одного кадра реализуется и обработка и изменение формата термоизображения. Обработанные сигналы выводятся на ТВ монитор цветного изображения. Двухканальный модуль может быть трансформирован в пятиканальный модуль.

Анализ современного состояния техники показывает, что потребность в многоканальных системах сбора видеoinформации с каждым годом увеличивается. Возможности реализованного варианта автономного процессорного модуля «сшивать» одновременно несколько изображений могут быть использованы при создании, например, сложных многокамерных ТВ устройств и многозональных устройств обработки и отображения видеoinформации.

1. Бодров В.Н., Кондратов П.С., Падалко Г.А. Видеопроектор реального времени для пиротепловизора и низкоуровневых телевизионных систем. //XVIII Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Тезисы докладов. 25-28 мая, 2004г., с. 215 - ГНЦ РФ ФГУП НПО «Орион», Москва , 2004г.

А48 Органические электролюминесцентные структуры для нового поколения дисплейных систем

Ермаков О.Н., ¹Каплунов М.Г., ¹Ефимов О.Н., Стахарный С.А.

ОАО НПП «Сапфир», Москва, Россия

¹Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Московская обл., Россия

Одной из наиболее интересных и перспективных технологий для нового поколения систем визуального отображения информации (включая системы ночного видения) является технология органических электролюминесцентных структур (т. н. *OLED* - технология) [1].

Кратко рассмотрена история развития этой технологии. Подобно ЖКИ в первых коммерческих продуктах в виде *OLED* - приборов, появившихся на рынке в конце 90 – х годов прошлого века, использовалась пассивно – матричная конфигурация возбуждения. С этого времени были разработаны приборы с активной матричной адресацией и динамика развития рынка *OLED* - приборов стала очень быстрой.

Благодаря своим достоинствам (малое энергопотребление, потенциально гибкая конструкция, широкий диапазон цветопередачи и т. д.) *OLED* - приборы наиболее пригодны для систем индивидуального пользования (микродисплеев) таких, как сотовые телефоны, системы виртуального отображения, портативная электроника.

Представлены экспериментальные результаты по отечественным знаковым индикаторам голубого цвета свечения, включая вольт – амперные, вольт – яркостные и спектральные характеристики, а также их температурные зависимости.

Следует подчеркнуть, что визуально наблюдаемая электролюминесценция имеет место при ультрамалых токах порядка 1 мкА, при этом уровень светоотдачи приборов превышает 1 лм/Вт, что близко к аналогичному параметру для неорганических сверхярких СИД.

Представлены данные по топографии поверхности приборных структур, показывающие, что качество поверхности слоёв и границ раздела может быть одной из причин, оказывающих существенное влияние на деградационные процессы в этих приборах.

1. Ермаков О.Н. Прикладная оптоэлектроника, М.: Техносфера, 2004 г.

А49 Высокочувствительные телевизионные камеры на основе ЭОП и бескорпусных ПЗС камер для различных областей спектра

Журавлев П.В., Шатунов К.П., Чурилов С.М., Турбин А.В.,

Ульянова Е.О., Алдохин П.А.

Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН, Новосибирск, Россия

В настоящее время для наблюдения за окружающим пространством широко применяются телевизионные (ТВ) камеры на базе ПЗС матриц. Общим недостатком камер, приёмником излучения в которых служит матрица ПЗС, является высокий уровень пороговой освещенности (облученности). Поэтому современные высокочувствительные ТВ камеры создаются на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП). Применение ЭОП в ТВ камерах позволяет повысить их пороговую чувствительность в 100 и более раз.

В докладе приводится описание и особенности конструктивного исполнения высокочувствительных ТВ модулей и камер с использованием ЭОП и ПЗС для видимого (400÷850, 550÷900 нм) и ультрафиолетового (200÷400) диапазонов спектра, разработанных за последнее время в Конструкторско-технологическом институте прикладной микроэлектроники СО РАН (КТИ ПМ СО РАН), приводятся результаты исследований и основные характеристики камер.

Рассматриваемые ТВ модули и камеры построены на основе унифицированного ТВ блока, включающего в себя ЭОП 2⁺, 3-го поколения или специализированный ЭОП для УФ диапазона, проекционный объектив для переноса изображения с экрана ЭОП в плоскость элементов ПЗС матрицы, ПЗС камеру.

В докладе представлены оптические схемы проекционных объективов с увеличением 0.42^x, 0.5^x и 0.72^x, разработанных в КТИ ПМ СО РАН, на основе которых созданы ТВ модули с разрешением до 450 и 600 ТВЛ. Приводятся результаты исследований проекционных объективов, их спектрально-энергетические и пространственно-частотные характеристики.

A50 Результаты испытаний микрокриогенной системы МСМГ-3В-1/80 – унифицированного модуля межвидового применения для ТПВК II-го поколения

Липин М.В., Смирнов А.В., Забенкова Е.В.
ООО “НТК “Криогенная техника”, Омск, Россия

Микрокриогенная система (МКС) МСМГ-3В-1/80 отличается от ранее разработанной по ОКР «Оператор – Ф» базовой МКС 2-го класса более широким диапазоном рабочих температур от -60 до +65°С и повышенными требованиями к холодопроизводительности и эффективности, а именно, холодопроизводительность не менее 1 Вт при температуре окружающей среды +65°С и потребляемой мощности не более 60 Вт в период выхода на рабочий режим.

Представлены результаты предварительных испытаний МКС на базе ООО “НТК “Криогенная техника”, включая испытания на безотказность и долговечность, которые позволили допустить МКС к проведению межведомственных (государственных) испытаний в составе тепловизора ТПВК-24Н, а также присвоить рабочей конструкторской документации КВО.0733.000 литеру “О”.

Приведены параметры МКС, полученные при проведении приемо-сдаточных испытаний партии опытных образцов.

Показано незначительное изменение параметров 4-х МКС в процессе предварительных испытаний, включая испытания на безотказность, и одной МКС на долговечность при общей наработке 6000 часов.

A51 Круглосуточный телевизионный канал

Шлычков В.И., Макаров К.В.
ФГУП «ПО «УОМЗ», Екатеринбург, Россия

Поиск, обнаружение, распознавание ориентиров и препятствий при пилотировании в условиях изменения освещенности на местности от 5×10^{-3} лк до 10^5 лк обеспечивается, в частности, круглосуточными телевизионными камерами (КТК). Например, в передающей камере ГЕО-НТК-4 [1] работу при изменении освещенности местности от 5×10^{-3} лк до 1 лк обеспечивает ночная телевизионная камера (НТК). Приемник изображения в НТК ЭОП поколения 2+ оптически связанный с ПЗС матрицей. Для работы в дневных условиях от 1 лк до 10^5 лк использована дневная телевизионная камера (ДТК). Фотометрический датчик при освещенности местности (1-2) лк. обеспечивает автоматическое переключение ДТК и НТК. Опыт эксплуатации ГЕО-НТК-4 показал низкую устойчивость ЭОПа в НТК к ярким локальным источникам света, которые попадают в поле зрения и приводят к расплыванию изображения или необратимым прожогам мишени ЭОПа.

В связи с этим был разработан, круглосуточный телевизионный канал. Канал разработан с учетом ограничений по габаритам ($W \times H \times L$) = $\sim (165 \times 170 \times 120)$ мм. В состав канала входят: объектив с полем зрения $2W^0 = 2^0$ и автоматически изменяющимся

относительным отверстием (днем $=1/4$, ночью $=1/2$), передающая камера на ПЗС-матрице ICX-249AL с внутрикадровой обработкой видеосигнала и узел повышения контраста изображения. В передающей камере реализован алгоритм внутрикадрового суммирования сигналов с элементов матрицы и суммирования кадров изображения. Узел повышения контраста выполнен на сигнальном процессоре типа L1879BM1. Алгоритм повышения контраста учитывает специфику изображений при пилотировании, наличие в поле зрения линии горизонта и, как следствие, бимодальный характер гистограммы распределения яркости элементов.

Изготовлен макет КТК и проведены его испытания. Разрешающая способность КТК измерена в диапазоне эквивалентном изменению освещенности на местности на коллиматоре с полем $2W^0 = 2^0$ и тестовой телевизионной таблицей ТИТ-0249, результаты измерений отражены в таблице.

| Освещенность, лк | 10^2 | 1 | 10^{-1} | 10^{-2} | 5×10^{-3} |
|--------------------------------|---------|---------|-----------|-----------|---------------------|
| Разрешение, т.л. Центр/край | 600/550 | 600/550 | 500/450 | 400/300 | 350-300/ 250-200 |

Повышение контраста информативных элементов в изображении составило $\sim(2-4)$ раза. В докладе приведены изображения ТИТ-0249 для различных освещенностей, изображения местности, полученные КТК с различной степенью детальности, соответствующие им гистограммы распределения яркости элементов и примеры контрастирования алгоритмом адаптивного преобразования гистограмм.

[1] ГЕО-НТК-4 Технические условия КНИБ.201219.019ТУ

A52 Телевизионная измерительная система

Матюшенко В.Г., Горобинская Е.А., Толстогузов В.Л.

*Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем
(ГосНИИАС), Москва, Россия*

Дистанционные методы определения формы и размеров объектов широко используются в различных отраслях - машиностроении, медицине, искусстве и криминалистике. При использовании телевизионных методов измерения точность таких измерений зависит от точности настройки самих измерительных ТВ систем, способов подсветки измеряемых объектов и точности определения координат реперных объектов, используемых при измерениях.

В докладе представлена телевизионная стереоскопическая измерительная система, принципы ее построения, методика взаимной юстировки приемных каналов.

В качестве приемных каналов в представленной измерительной системе используются телевизионные камеры с твердотельными фото-приемными устройствами (ФПУ).

Одной из проблем при создании и юстировке ТВ измерительных систем с твердотельными ФПУ является то, что плоскость ФПУ произвольным образом ориентирована в пространстве и не имеет технологических поверхностей, которые можно было бы принять в качестве базовых.

В связи с этим, оценку как внешних, так и внутренних параметров ТВ стереоскопической измерительной системы, необходимо проводить предварительно выставив плоскость ФПУ перпендикулярно относительно оптической оси объектива приемного канала, или определив ее угловое положение.

В докладе приведено описание разработанных аппаратуры и методики юстировки ФПУ относительно оптической оси объектива, оценены точностные характеристики юстировки.

Доклад снабжен иллюстративным материалом.

А53 Пороговое отношение сигнал/фон при обнаружении точечных объектов

Голицын А.А., Голицын А.В.

*Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН,
Новосибирск, Россия*

Исследовано пороговое отношение сигнал/фон при визуальном обнаружении оператором точечных объектов переменной интенсивности на неоднородных фонах, характерных для задачи обнаружения оптико-электронных приборов оптическим локатором активно-импульсного типа. Установлено, что, при наблюдении объекта, яркость которого модулируется с частотой порядка единиц Герц, пороговое отношение сигнал/фон может уменьшаться в 2 – 2.5 раза по сравнению с отношением, требуемым для обнаружения объекта постоянной яркости, а вероятность обнаружения при равном отношении сигнал/фон может возрасть до 6 раз.

Исследование проведено при помощи генерируемой на дисплее фоно-целевой обстановки с контролируемыми параметрами фона и объекта.

А54 Полноформатный тепловизионный модуль на основе охлаждаемого фотоприемника 288×4 элементов отечественного производства

Журавлев П.В., Добровольский П.П., Шатунов К.П., ¹Васильев В.В., ¹Овсяк В.Н.,
¹Захарьяш Т.И., ¹Сусяков А.О.

*Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН,
Новосибирск, Россия*

¹Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В последнее время в КТИ ПМ СО РАН ведутся интенсивные работы по созданию отечественных тепловизионных приборов различного назначения на основе охлаждаемых ИК линейчатых и матричных фотоприемников. В результате этих работ сформированы идеология построения тепловизионных систем и необходимая кооперация с российскими предприятиями.

В настоящей статье представлены результаты совместной работы, в которой был изготовлен тепловизионный модуль на основе фотоприемной линейки форматом 288×4 элементов на основе гетерозпитаксальной структуры кадмий-ртуть-туллуриды (ГЭС КРТ), разработанной в ИФП СО РАН. Фотоприемная линейка имела следующие основные параметры: средняя удельная обнаружительная способность $1,96 \times 10^{11} \text{ см} \times \text{Гц}^{1/2} \times \text{Вт}^{-1}$, средняя вольт-ваттная чувствительность - $2,16 \times 10^8 \text{ В/Вт}$, длинноволновая граница спектральной чувствительности $\lambda_{0,5} = 10,5 \text{ мкм}$, дефектных каналов – нет, рабочая температура - 80 К.

Принятая в КТИ ПМ СО РАН идеология построения тепловизионных приборов позволила с минимальными затратами, заменив фотоприемное устройство фирмы «Sofradir» с микрокриогенной системой охлаждения на отечественное, получить полноформатный тепловизионный модуль со следующими параметрами:

- относительное отверстие оптической системы - 1:1,57;
- температурное разрешение - 60 мК;
- формат кадра - 768x576 элементов;
- частота кадров - 12,5 Гц;
- спектральный диапазон - 7,5÷10,5 мкм;
- температура криостатирования - 80 К;
- время выхода на рабочий режим - 5 мин.

В нашем случае использовался мультиплексор в режиме временной задержки накопления с однонаправленным сканированием.

Использование мультиплексора с двунаправленным сканированием позволит увеличить частоту кадров в два раза.

A55 Тепловизионный модуль на основе охлаждаемого матричного фотоприемника на квантовых ямах форматом 320x256 элементов

Журавлев П.В., Добровольский П.П., Шатунов К.П., ¹Шашкин В.В., ¹Овсяк В.Н.,
¹Марчишин И.В., ¹Фатеев В.А.

*Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН,
Новосибирск, Россия*

¹Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В течение последних лет в КТИ ПМ СО РАН на базе матричного фотоприемника фирмы «Софрадир» с фоточувствительным слоем кадмий-ртуть-теллур разработан тепловизионный модуль с форматом кадра 320x256 элементов.

В это же время в ИФП СО РАН ведутся интенсивные работы по созданию охлаждаемых ИК фотоприемных матриц на основе гетероэпитаксиальных структур кадмий-ртуть-теллур и многослойных структур с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs получаемых методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Формат матричных ИК фотоприемников и их технические характеристики позволяют создавать матричные тепловизионные модули, аналогичные зарубежным. При этом принятая идеология построения тепловизионных приборов позволяет практически без изменений использовать разработанные ранее компоненты тепловизионного модуля на основе импортного фотоприемника.

В настоящей работе представлены результаты, полученные для тепловизионного модуля с охлаждаемым матричным ИК фотоприемником форматом 320x256 построенного на основе многослойных структур с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs с параметрами:

- шаг между элементами - 30 мкм;
- максимум спектральной чувствительности - 9,2 мкм;
- средняя пороговая облученность - $1,8 \cdot 10^{-7}$ Вт/см²;
- разброс вольтовой чувствительности - 20%;
- число дефектных элементов - 1,2%;

Основные параметры тепловизионного модуля:

- относительное отверстие оптической системы - 1:2;
- рабочая температура - 69 К;
- охлаждение – микрокриогенная система «сплит-стирлинг» с хладопроизводительностью - 1 Вт;
- температурное разрешение - 0,1 К;
- частота кадров - 50 Гц;

На основе полученных результатов намечены пути улучшения параметров тепловизионного модуля.

A56 Двухканальный малогабаритный телевизионно-тепловизионный прибор наблюдения

Журавлев П.В., Косолапов Г.И., Хацевич Т.Н.

*Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН,
Новосибирск, Россия*

В настоящее время получили определенное развитие телевизионные и тепловизионные приборы наблюдения (ПН). Существенный интерес для развития приборов оперативного применения представляют новые разработки ПН носимого класса, в том числе работающих в различных спектральных диапазонах. Разработка приборов для оперативного применения, наиболее эффективных при работе, например, в двух

спектральных диапазонах и имеющих минимальную массу и габариты, является достаточно непростой инженерной задачей. К комплексу решаемых задач разработки ПН необходимо отнести: обеспечение единой визирной оси каналов; использование принципа «отдельная оптика + общая электроника»; современные требования к оптическим системам; возможность обработки изображения; использование современных фотоприемников; конструктивное разделение приемной и отображающей частей прибора.

Приводится описание оптико-электронной схемы двухканального малогабаритного телевизионно-тепловизионного ПН, его конструктивных особенностей.

Приемный модуль ПН реализован на основе двухканального коаксиального зеркально-линзового объектива и включает зеркально-линзовый канал видимого диапазона и линзовый тепловизионный канал, расположенный в зоне центрального экранирования канала видимого диапазона, имеющие общую визирную ось. Параметры канала видимого диапазона: фокусное расстояние 70 мм; геометрическое относительное отверстие 1:0,8; эффективное относительное отверстие 1:1,3; угловое поле в пространстве предметов 8°; приемник - низкоуровневая телевизионная камера (типа VNI - 702). Параметры тепловизионного канала: фокусное расстояние 80 мм; относительное отверстие 1: 1,6; угловое поле в пространстве предметов 13°40'; спектральный интервал 8 – 12 мкм; приемник - болометрическая матрица размерностью 160 ×120 элементов. Визуализация изображения осуществляется либо на стандартном телевизионном мониторе, либо на основе наголовного малогабаритного матричного дисплея.

A57 Регистрация коротких световых импульсов фотоприемными устройствами на основе фоторезисторов с большой инерционностью

Бушман С.В., Горелик Л.И., Кравченко Н.В., Куликов К.М., Петров А.К.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрены возможности применения фотоприемных устройств на основе фоторезисторов PbS и PbSe для регистрации импульсного излучения с длительностями от 100 нс. Измерены спектры шума таких фоторезисторов.

Для этих фоторезисторов рассчитаны частотные характеристики согласованных фильтров, обеспечивающих максимум отношения сигнал/шум. Проведены измерения и расчеты пороговой чувствительности фотоприемников для длительностей световых импульсов от 100 нс до 1 мс.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 05-07 08006.

A58 Система кругового обзора на основе матричного фотоприемного устройства

Горелик Л.И., Петров А.К.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрена инфракрасная система кругового обзора с цифровой компенсацией поворота изображения на основе матричного фотоприемного устройства, работающего в режиме «Snapshot».

Проведено математическое моделирование систем с одно и двух зеркальным шарниром.

Рассчитан энергетический потенциал типичных оптико-электронных приборов для спектрального диапазона 3-5 мкм с матричным фотоприемным устройством на основе InSb.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 05-07 08006.

A59 Система калибровки тепловизионной камеры с матричным фотоприёмным устройством формата 4x288, работающим в режиме временной задержки и накопления сигналов

¹Алеев Р.М., ²Катаев О.В., ¹Малеваный П.П., Медведев А.С., ¹Насибуллин Р.А.
Полторацкий А.В., Соляков В.Н., Тетерин И.И.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия
¹ЗАО НПФ «Оптоойл», Казань, Россия
²НИИ МВС ТРТУ, Таганрог, Россия

Представлены результаты разработки системы калибровки тепловизионной камеры (ТК) с матричным фотоприёмным устройством формата 4x288, работающим в режиме временной задержки и накопления сигналов. Калибровка осуществляется методом двухточечной коррекции по опорным источникам излучения, выполненных на основе элементов Пельтье. Температура излучающих поверхностей изменяется в зависимости от температурного диапазона наблюдаемой тепловой сцены. Устройство управления температурной стабилизацией опорных источников излучения независимое и реализовано на микроконтроллере Aduc812. Оптическая схема системы калибровки позволяет калиброваться во время обратного хода кадровой развертки в течение каждого полукадра через время 20 мс. Для этого в плоскости промежуточного изображения расположена турель, вращающаяся синхронно с разверткой сканера. На плоскостях турели расположены зеркала, обеспечивающие равномерную засветку элементов матричного фотоприемного устройства излучением от опорных источников.

В течение прямого хода блок электронной обработки ТК вычисляет среднее напряжение, которое определяется средней температурой наблюдаемой тепловой сцены. Во время обратного хода блок электронной обработки определяет напряжения, соответствующие температурам излучающих поверхностей и вырабатывает команды, которые поступают в устройство управления температурой опорных источников излучения, на изменение температур излучаемых поверхностей.

Технические характеристики:

Стабильность поддержания температуры поверхности источника излучения - не более 0,05°.

Неравномерность нагрева (охлаждения) поверхности источника излучения - не более 0,1°.

Коэффициент излучения поверхности источника излучения - не менее 0,8.

A60 Математическое моделирование коррекции неоднородности матричных фотоприемных устройств по сигналам сцены

Жегалов С.И., Морозова В.Г., Сагинов Л.Д., Соляков В.Н.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведено математическое моделирование процесса коррекции неоднородности сигналов матричных фотоприемных устройств «смотрящего» типа без использования опорных источников излучения. Предлагаемая модель рассматривает процессы регистрации сигналов сцены элементами матричного фотоприемного устройства (МФПУ), аналого-цифрового преобразования и цифровой обработки сигналов, включающей определение корректирующих коэффициентов по сигналам сцены и коррекцию сигналов МФПУ сигналов для устранения геометрического шума. Целью моделирования было исследование метода коррекции и подтверждение теоретических оценок точности процедуры коррекции.

В состав модели входят модель сигналов сцены, модель МФПУ и модель обработки. Для исследования используется имитационная модель сигналов сцены. Наряду

с имитационным предусматривается сигнальный вход записанных в файлы реальных сигналов ФПУ.

Модель МФПУ предусматривает полиномиальную зависимость выходного сигнала от потоков сцены с добавлением моделируемых источников шума. Модель АЦП округляет значения сигналов МФПУ и масштабирует в пределах динамического диапазона. Модель обработки определяет корректирующие коэффициенты и производит коррекцию сигналов для устранения геометрического шума. Параметры обработки учитывают изменчивость сцены, вариантность моделей элементов МФПУ и шум. Эти факторы определяют массив-форму «Состояние элементов», отображающую дефектность элементов и пригодность к одно - или двухточечной коррекции. По этой форме и оценкам межэлементной неоднородности соседних элементов формируются корректирующие коэффициенты элементов матрицы, по направлениям от базового элемента вверх, вправо, вниз и влево. Процесс формирования идет охватом элементов матрицы периметрами все большей размерности, начиная с нулевой, для которой исходный периметр включает только базовый элемент. При формировании предусмотрен обход дефектных элементов и элементов, пригодных только для односточечной коррекции элементов. Такие элементы корректируются с учетом их связи только с базовым элементом.

Результаты моделирования представляются статистическими оценками и критерием качества коррекции в графической и табличной формах. Критерий качества рассчитывается для имитационного сигнального входа. Для этого скорректированные сигналы сопоставляются с сигналами сцены посредством параметрической минимизации суммы квадратов отклонений с одним, двумя или более параметрами.

Полученные результаты моделирования соответствуют теоретическим оценкам зависимости точности метода от характеристик сцены. Исследовано влияние параметров обработки на точность коррекции. Оценены вычислительная сложность и объемы памяти для реализации метода на сигнальном процессоре.

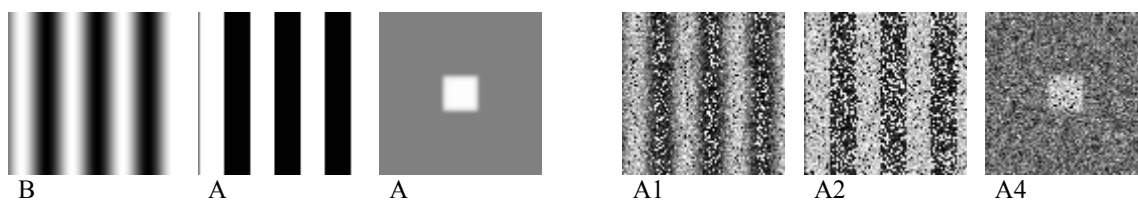
А61 Визуализация тестовых изображений в среде Mathcad

Соляков В.Н., Эдельштейн Ю.Г.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Тестовые изображения (ТИ) в виде обычных оптических мир или одиночных объектов (кругов, квадратов) и т. п., находят применение для оценки видимости и других характеристик оптических и оптико-электронных наблюдательных приборов. Обычно ТИ изготавливаются графическими методами, при этом существуют определённые трудности в реализации законов распределения интенсивности, отличающихся от равномерного, моделировании шумов и в некоторых других случаях.

В настоящем сообщении обращено внимание на те возможности, которые открывает использование инструментов, имеющихся в среде MathCad, в частности, встроенных функций “READDMP” и “WRITEBMP”, а также функций обработки изображений. Применение этих функций позволяет простым образом построить исходные тест-объекты, провести математическое моделирование влияния функций передачи оптических и оптико-электронных трактов, а также шумов различной природы на параметры оптико-электронных систем, а также обеспечить визуализацию самых различных линейных или двумерных периодических структур и одиночных объектов с заданными пространственными, яркостными и шумовыми характеристиками. Имеется также возможность синтезировать изображения оптических функций рассеяния и их свёрток.

Приводятся примеры некоторых ТИ: синусоидальной и прямоугольной чёрно-белой миры и квадрата, в т. ч. с дефектами типа пространственных шумов.



А62 Спектральное фильтрующее устройство на основе оптических элементов с положительной и отрицательной производными зависимостями углов полного внутреннего отражения от длины волны

Сагинов Л.Д., Кононов А.С., Свиридов А.Н., Бакуменко В.Л.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведены расчеты параметров спектрального фильтрующего устройства, в котором для фильтрации оптического излучения используется явление полного внутреннего отражения. Ожидается, что предложенное устройство может быть использовано совместно с коммерческим тепловизором для получения изображений объектов в заданных узких спектральных диапазонах. При наблюдении этих же объектов в широком спектральном диапазоне, яркости фрагментов усредняются, и объем получаемой оптической информации значительно уменьшается.

А63 Спектральное фильтрующее устройство с использованием многолучевой интерферометрии

Сагинов Л.Д., Кононов А.С., Свиридов А.Н., Бакуменко В.Л.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассматривается спектральное фильтрующее устройство - мультиплекс, в котором фильтрация оптического изображения осуществляется с использованием многолучевой интерференции в интерферометрах, в которых отражающие поверхности обращенных друг к другу пластин каждого интерферометра оптически отполированы и не имеют металлических или интерференционных зеркальных покрытий. На основе проведенных расчетов характеристик устройства предполагается, что оно может быть использовано совместно с тепловизором для получения изображений объектов в заданных узких спектральных диапазонах, что позволит расширить возможности тепловизора при обнаружении объектов с узкими полосами излучения или поглощения.

А64 Метод оптимизации несканирующих тепловизионных приборов

Овсянников В.Л., Филиппов В.Л.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

В работе предложен оригинальный аналитический метод решения задачи оптимального выбора основных технических параметров несканирующего тепловизионного прибора (ТВП) – разности температур, эквивалентной шуму, и эффективного значения элементарного поля зрения, а также соответствующих параметров объектива, при которых ТВП, обеспечивающий вероятности обнаружения или распознавания P_i каждого из n различных объектов, не меньше требуемых значений P_i^* ($i = \overline{1, n}$; n - любое), имел бы объектив с минимальным диаметром. Метод оптимизации базируется на установлении оптимальной угловой частоты разрешаемой эквивалентной миры z_k , для которой обеспечивается равенство $P_k = P_k^*$ для любого k -го объекта и

соотношения $P_i \geq P_i^*$ для всех остальных объектов. При поиске z_k учитываются ограничения на относительное отверстие объектива: снизу, обусловленное ещё допустимым превышением дифракционным кружком рассеяния объектива элемента фотоприемного устройства (ФПУ), и сверху, определяемое возможностью коррекции аберраций объектива. Найденное значение z_k определяет искомые параметры ТВП через посредство температурно-частотной характеристики в относительных единицах, общей для любых ТВП.

Разработанный метод обладает следующими достоинствами: учитывает зависимость P_i от степени различия объектов, неоднородности фона и квалификации оператора, пространственный шум ФПУ, выборку, смаз, наличие микросканирования, тип ФПУ (фотонное или тепловое), работу в режиме ограничения фоном; обеспечивает реализацию оптимального соотношения размеров кружка рассеяния объектива и элемента ФПУ; весьма прост, ибо не требует никаких итеративных процедур; достаточно универсален и легко адаптируется для оптимизации других видов ТВП.

А65 Алгоритм прогноза значений дальности обнаружения объектов наблюдения автоматом захвата тепловизионного канала

Трестман М.ММ Егошин К.В., Камашева Н.М., Харькова Н.И.

ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

420075, Лунатова, д.2, Тел.: (843) 2 74 35 72, Факс: (843) 2 74 18 03,

E-mail: postmaster@gipo.kazan.ru

Прогнозируемые значения дальностей обнаружения (Д) визируемых объектов наблюдения (ОН) определяются решением уравнения для отношения «сигнал-шум» (с/ш) в видеотракте тепловизионного канала (ТПВК) относительно Д методом итераций:

$$c/ш = \left(\Delta T / \Delta T_{нор} \right) \tau_{атм}(D) \Omega_{он}(S, D) / \Omega_{из}(S, D, a) .$$

Здесь: – сигнатура ОН принята в виде средней по визируемой площади ОН (S) разности радиационных температур ОН и окружающего фона (ΔT);

– ослабление оптического излучения ОН атмосферой в диапазоне спектральной чувствительности ТПВК принято равным интегральному значению коэффициента пропускания излучения на трассе – $\tau_{атм}(D)$;

– параметры ТПВК приняты в виде значений разности радиационных температур тест-объекта и фона, эквивалентной шуму в видеотракте ($\Delta T_{нор}$), а угловое разрешение – в виде эквивалентных шумовых апертур ТПВК: по выходу видеосигнала (a) и в зрительном анализаторе (ЗА) оператора (b);

– телесный угол, стягивающий площадь визируемой поверхности ОН с расстояния Д, – $\Omega_{он}(S, D)$;

– телесный угол, стягивающий эквивалентную шумовую апертуру изображения ОН по выходу видеосигнала – $\Omega_{из}(S, D, a)$.

В режиме автосопровождения ОН с/ш принимается фиксированным значением в элементарном поле зрения ТПВК.

В режиме наблюдения оператором с/ш – значение для заданной вероятности обнаружения с учетом эффекта накопления с/ш в ЗА.

Для тепловизионных каналов фирмы «Sagem» (IRIS – AWS, Matis – LR) прогнозируемые значения дальностей автосопровождения (с/ш = 6) объекта типа «самолет-истребитель» составляют не более (60-65)%, а объекта типа «корабль» составляют не более 50% дальностей обнаружения этих объектов оператором с заданной

вероятностью обнаружения 0.5 (нормированное значение вероятности рекламируемых дальностей действия ТПВК фирм США и стран Евросоюза).

А66 Влияние технологических факторов на свойства пленок окиси ванадия в технологии микроболометров

Жукова С.А., ¹Обижаев Д.Ю., Звонова М.М., Тимофеенко И.А., Четверов Ю.С.

ОАО «ЦНИИ «ЦИКЛОН», Москва, Россия

¹«МАТИ» – Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, Москва, Россия

Термочувствительным элементом микроболометрических матриц в представленной технологии является тонкая пленка окиси ванадия. Из литературы известно, что для получения проводимости в пределах 0,002-0,5 Ом·см с ТКС до 2 и более процентов для температуры 293-303К состав окиси ванадия (VO_x) должен быть в пределах $1,875 \leq x \leq 2$, с необходимой толщиной 1000 Å. Состав материала, структура, его электрические параметры, большие площади подложек, наличие КМОП-структур ограничивают выбор способов получения окиси ванадия с заданными характеристиками. В данной работе получение пленок окиси ванадия реализовано на основе реактивного магнетронного распыления ванадиевой мишени. Свойства пленок окиси ванадия, полученных таким методом, сильно зависят как от условий их получения, так и от воздействия внешних факторов. Нами были рассмотрено влияние плазмохимических, жидкостных технологических обработок, межфазных границ раздела и природы граничащих с окисью ванадия слоев на электрофизические характеристики окиси ванадия. С помощью полученных результатов оптимизированы технологические операции формирования функциональных слоев микроболометрических матриц для повышения воспроизводимости структур и улучшения выходных характеристик микроболометров.

А67 Особенности формирования и свойства пленок нитрида кремния в технологии микроболометрических приемников

Жуков А.А., ¹Обижаев Д.Ю., Четверов Ю.С.

ОАО «ЦНИИ «ЦИКЛОН», Москва, Россия

¹«МАТИ» – Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, Москва, Россия

Тонкие пленки нитрида кремния являются основным конструкционным материалом микромостиковых структур матричных микроболометрических приемников. Наличие остаточных напряжений в таких пленках приводит к деформациям и, как следствие, изменению величины резонансной полости Фабри-Перо. В связи с этим актуальной проблемой является получение пленок малонапряженного нитрида кремния.

Целью работы является разработка процесса получения и исследование свойств малонапряженных пленок нитрида кремния.

Напряженное состояние пленок нитрида кремния оценивали на тестовых балочных элементах. Балочные элементы формировали по микромашинной технологии на полиимидных «жертвенных» слоях с использованием процесса осаждения нитрида кремния из газовой фазы (моносилан и азот) с применением СВЧ-плазменного стимулирования в условиях электронно-циклотронного резонанса при температуре не более 100°C.

Установлено, что напряжения носят сжимающий характер, а деформации балочных структур резко возрастают при увеличении содержания моносилана в смеси газов, и, соответственно, содержанием кремния в составе пленок, что подтверждается результатами измерений свободной поверхностной энергии и скорости травления пленок нитрида кремния.

Полученные результаты позволяют обоснованно подходить к выбору режимов осаждения тонких пленок нитрида кремния в технологии изготовления матричных микроболометрических приемников.

А68 Влияние разброса параметров матричного фотоприемника на характеристики тепловизионной системы

Латьпов Я.М., Шушарин С.Н.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

В настоящее время в практике применения инфракрасных систем, как в военных, так и в гражданских целях, ведущее место занимают тепловизионные системы на основе фотоприемных устройств второго поколения – многорядных линейных матриц, работающих в режиме временной задержки и накопления.

Специфика материала КРТ и его технология не позволяют получать матрицы и двумерные структуры в виде нескольких линеек с однородными свойствами чувствительных элементов. Наблюдаются значительные разбросы чувствительности, обнаружительной способности, удельного сопротивления между элементами, что приводит к появлению в выходном сигнале так называемого «геометрического шума» - случайного распределения уровня выходного сигнала с элементов.

В современных системах используются различные методы коррекции, позволяющие снизить «геометрический шум» до приемлемых значений. Однако если при высоких отношениях сигнал/шум в электронном тракте мы можем добиться приемлемого значения остаточного «геометрического шума» при любом разбросе параметров матричных фотоприемных устройств, то при малом отношении сигнал/шум появляются ошибки вычисления коэффициентов коррекции.

При малом отношении сигнал/шум в электронном тракте результаты коррекции начинают зависеть от разброса обнаружительной способности элементов фотоприемника. Результаты проделанной работы показывают, что в этом случае приемлемое значение «геометрического шума» достигается при максимальном разбросе обнаружительной способности элементов относительно среднего значения не более 15-20%.

А69 Схемотехническое решение цифрового устройства обработки информации матричного фотоприемного устройства в режиме дальнометрирования

Приходько В.Н., Сюняев Л.З., Вахитов М.А., Хайрутдинов Б.Г.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

Теплопеленгационные системы с матричными ФПУ, предназначенные для обнаружения, определения координат и идентификации (опознавания) объекта, излучающего энергию в ИК спектре длин волн, в ряде случаев позволяют оценить дальность до объекта по взаимному положению пеленгатора (если он расположен на подвижном носителе), объекта и реперных меток (если известна дальность до реперных меток). Эта оценка, как правило, грубая и возможна только при больших взаимных перемещениях пеленгатора и объекта относительно реперных меток, а также наличия априорной информации о скоростях объекта и носителя. Даже в случае выполнения этих условий, время оценки зачастую неприемлемо велико.

Однако если ФПУ обеспечивает работу с уменьшенным форматом кадра и высокой частотой считывания кадров, появляется возможность грубой, но быстрой оценки дальности с помощью импульсного лазера.

В зависимости от функциональных возможностей ФПУ (формат кадра, организация считывания) пеленгатор может работать с переключением или с совмещением режимов импульсного дальнометрирования и пеленгации.

В статье описываются алгоритмы работы пеленгаторов в режиме измерения дальности и схемотехнические решения, реализующие эти алгоритмы, в режимах совмещения или переключения.

A70 Способ измерения монохроматической чувствительности и быстродействия ФЧЭ размером не более 50x50 мкм на различных длинах волн

Забенькин О.Н., Чинарева И.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработана установка, которая позволяет проводить измерения спектральной характеристики, определять монохроматическую чувствительность на рабочей длине волны 0,8 мкм, 1,3 мкм, 1,5 мкм, быстродействие коэффициента взаимосвязи линеек, имеющих размеры фоточувствительной площадки 40-50 мкм и работающих в диапазоне температур -60°C +60°C. В установке, в качестве передающей среды, используется одномодовое оптическое волокно, а также оптический аттенюатор, оптический разветвитель и микрооптика, которые позволяют формировать однородное световое пятно малых размеров ~20 мкм и выделять основную моду излучения.

A71 Радиационно-стойкие фотоприемники на область спектра 0,35 ÷ 1,1 мкм

Аскеров К.А., Бекташи М.Г., Гаджиева В.И., Абдинов Д.Ш.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Работа посвящена разработке технологии изготовления радиационно-стойких фотоприемников, чувствительных в видимой и ближней ИК-области спектра на основе слоистых соединений. Хотя в литературе имеются работы, посвященные разработкам таких фотоприемников на основе слоистых материалов и исследованиям воздействия ионизирующих излучений на физические свойства слоистых кристаллов и преобразователей на их основе, однако существующие в настоящее время фотоприемники на область спектра 0,35 ÷ 1,1 мкм не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к фотоэлектронным приборам по радиационной стойкости. С другой стороны, создание фотоприемников на основе не очень дорогостоящих слоистых полупроводников повышает эффективность, качество приборов и снижает трудоемкость при их изготовлении. Проведенные комплексные исследования частично решают вышеуказанные проблемы.

Разработаны физические основы конструкции и технологии изготовления фотодиодов на основе селенида галлия, селенида индия и теллурида галлия. Некоторые изменения в технологии получения фоточувствительных элементов позволили получить фотодиодные структуры с количеством элементов до пяти. Исследуемые фотодиоды обладали фоточувствительностью в области спектра 0,45-1,1 мкм с максимумами $\lambda_{\text{GaSe}} = 0,63$ мкм, $\lambda_{\text{InSe}} = 0,95$ мкм и $\lambda_{\text{GaTe}} = 0,85$ мкм при комнатной температуре, а также сравнительно повышенными фотоэлектрическими параметрами.

А72 Сравнительный анализ интегральных схем мультиплексоров для ФПУ на основе халькогенидов свинца

Бородин Д.В., Кузнецов П.А., Храпунов М.Л.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия
ООО «Импекс», Москва, Россия

В докладе приводится сравнительный анализ принципов построения, а также схемотехнических и технологических возможностей некоторых микросхем КМОП и ПЗС мультиплексоров, предназначенных для непосредственного сопряжения с многоэлементными фотоприемниками на основе PbS и PbSe. Приведены расчетные соотношения параметров мультиплексоров, а также результаты исследований экспериментальных образцов. Сформулированы рекомендации по применению и оценка перспективности разработок мультиплексоров.

А73 О возможности создания многоспектральных фотоприемных модулей смотрящего типа для перспективных систем космического мониторинга

Борошнев А.В., ¹Куликов В.Б.
ФГУП «ЦНИИ «Комета», Москва, Россия
¹ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха» Москва, Россия,
117342, ул. Введенского, д.3, Тел. : 333-03- 67, факс: 333-00-03, e-mail: mail@polyus/msk.ru

В работе рассмотрены возможности построения смотрящих ИК-систем космического базирования на основе матричных фотоприемников (МФП) большого формата, обеспечивающих фоточувствительность в спектральных диапазонах 3-5 мкм и/или 6-12 мкм. Проведены оценки пороговых характеристик таких МФП в зависимости от фоновой обстановки. Особое внимание уделяется возможности использования для создания МФП структур с квантовыми ямами (СКЯ), обладающих высокой однородностью характеристик, стойкостью к внешним воздействующим факторам, в частности, к ионизирующим излучениям.

А74 Разработка и опытная эксплуатация комплекса аппаратно-программных средств (КАПС) для мониторинга, диагностики и контроля изготовления КМОП СБИС

¹Авраменко А.М., ²Иваненко А.Ю., ¹Климанов Е.А., ¹Муравьев А.Г., ³Николаев В.А.,
¹Сагинов Л.Д., ¹Фетисов Е.А., ¹Щукин С.В.
¹ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия
²ООО «Инфотехпром», Москва, Россия
³НПО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь

В докладе рассматриваются предварительные экспериментальные результаты создания и опытной эксплуатации в научно-техническом центре специальной микроэлектроники ФГУП «НПО «ОРИОН» комплекса аппаратно-программных средств (КАПС).

КАПС предназначен для использования при изготовлении аналого-цифровых сверхбольших интегральных схем (СБИС) для фотоэлектронных модулей (ФЭМ), создания системы управления базы данных, для хранения технологической информации с целью обеспечения управления технологическими процессами.

В программное обеспечение автоматизированной системы КАПС входит: сбор и обработка информации о параметрах функционирования технологического оборудования, ходе выполнения технологического процесса, контроль соответствия параметров

интегральных схем техническим требованиям, контроль прохождения партий опытных образцов интегральных схем по технологическому маршруту.

В КАПС реализуется ручной и автоматизированный ввод данных.

На настоящее время в КАПС входит 6 рабочих станций на основных участках КМОП - технологии НТЦ специальной микроэлектроники. КМОП - комплементарные структуры «металл-окисел-полупроводник». Сервер - HP Proliant ML150G2 собранный на 2-х процессорах Intel Xeon 3ГГц с 3 Гб оперативной памяти и предусмотренной защитой от потери накопленной информации путем зеркального сохранения данных на резервный жесткий диск. Т.о. ресурсы сервера рассчитаны на модернизацию и расширение сети в будущем.

При полном внедрении КАПС в опытное производство ФГУП «НПО «ОРИОН» будет обеспечена возможность повысить прослеживаемость и технологию изготовления различных типов ФЭМ и их качество.

A75 Оптический клей для склейки больших оптических поверхностей при сборке многоэлементных фотоприемников ИК-излучения на основе халькогенидов свинца

Антипова М.А., Бочков В.Д., Давыдов С.Е., Казарова Ю.А..
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработан конструкционный полимерный клей для склейки больших стеклянных поверхностей при изготовлении герметичного металлостеклянного вывода контактов многоэлементного охлаждаемого фотоприемника (число элементов 768 на 6) к электронике фотоприемного устройства.

Клей разработан на основе эпоксидных смол, модифицированных акрилатным клеем типа КВАНТ с введением низкодисперсных наполнителей, что позволило достичь необходимых эксплуатационных характеристик для обеспечения требований к металлостеклянному выводу.

В докладе приводятся физико-химические свойства клея КВЭД-421, технология его приготовления и применения.

Клей защищен авторским свидетельством, ; имеется соответствующая техническая и технологическая документация.

С применением разработанного клея изготовлены изделия, используемые в космической технике.

A76 Формирование спектральной характеристики алмазных фотоприемников

Кирилин Н.М., ¹Трищенко М.А., ¹Эскин Ю.М.
ОАО «УралАлмазИнвест», Москва, Россия
¹*ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

Алмазные фотоприемники прочно заняли свое место среди других типов ультрафиолетовых фотоприемников (УФ ФП). Они имеют преимущество перед УФ-ФП на основе Si, GaP, GaN и других материалах по спецстойкости, химической стойкости, механической прочности. Область собственного поглощения алмазных УФ-ФП (0,19...0,23 мкм) идеально согласована с биологически опасной жесткой компонентой С-УФ излучения. Вместе с тем для ряда приложений (например, задач обнаружения, сопровождения целей) требуется чувствительность к А-УФ и В-УФ компонентам. Используя кристаллы алмаза с различной концентрацией азота, была получена серия алмазных УФ-ФП, в которых область спектральной характеристики простиралась до длин волн 0,3; 0,4 мкм и даже далее.

Впервые разработана модификация алмазного УФ-ФП, с уникальной спектральной характеристикой: она имеет два равных выделенных пика на длинах волн $\sim 0,23$ мкм и $0,27$ мкм.

A77 Травление монокристаллов CdTe разной кристаллографической ориентации растворами I₂ в метаноле и диметилформамиде

Томашик З.Ф., ¹Иваницкая В.Г., Томашик В.Н., ¹Фейчук П.И., ¹Щербак Л.П.

¹*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина, пр. Науки 41; e-mail: tomashyk@isp.kiev.ua*

²*Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина*

Исследован характер физико-химического взаимодействия выращенных методом Бриджмена монокристаллов CdTe, ориентированных в направлениях [111]А, [111]В, [110] и [100], а также неориентированных образцов с травильными композициями I₂–CH₃ОН и I₂–диметилформамид (ДМФА). Химическое травление пластин проводили на установке для химико-динамического полирования (ХДП) с использованием методики вращающегося диска. Скорость растворения образцов определяли по уменьшению их толщины с помощью часового индикатора 2-МИГП с точностью $\pm 0,5$ мкм. Травильные смеси готовили с использованием кристаллического I₂, CH₃ОН, ДМФА и Na₂S₂O₃·5H₂O (все реактивы – “ч.д.а.”). Приготовленные растворы перед травлением выдерживали не менее 60 мин до полного растворения иода. Микроструктуру протравленных поверхностей исследовали с помощью металломикроскопа ММР-4, а шероховатость поверхности – профилографическим анализом.

Концентрационные зависимости скорости растворения исследовали при температуре 293 К и скорости вращения диска 84 мин⁻¹. Поскольку растворы с большим содержанием иода становятся пересыщенными, концентрационный интервал для исследований находился в пределах 3-15 масс. % иода. При увеличении концентрации иода в метаноле (ДМФА) скорость растворения всех исследованных образцов увеличивается. Построены концентрационные зависимости скорости химического растворения ориентированных образцов CdTe и определены границы полирующих растворов.

Установлено, что с увеличением массовой доли иода в ДМФА для всех исследованных образцов CdTe скорость травления различных плоскостей возрастает от 0,8-1,3 до 9,9-15,3 мкм/мин. В разбавленных смесях (при 2-5 мас.% I₂ в ДМФА) скорость травления различных кристаллографических плоскостей незначительно уменьшается в таком порядке: (100) > (110) > (111) > неориентированный образец. При увеличении концентрации иода (20-25 мас.% I₂ в ДМФА) наблюдается изменение этой зависимости и порядок убывания скоростей травления разных плоскостей следующий: (111)В > (110) > неориентированный образец > (100).

Показано, что при растворении в иод-метанольных растворах высшей реакционной способностью обладает анионная сторона поверхности (111) монокристаллического CdTe по сравнению с его катионной стороной. Кинетическими исследованиями скорости растворения (зависимости ее от интенсивности перемешивания и температуры) установлено, что процессы травления в полирующих растворах исследованных систем I₂–растворитель лимитируются диффузионными стадиями. Кажущиеся энергии активации E_a , определенные из температурных зависимостей скорости растворения в интервале 285-310 К, не превышают 25-30 кДж/моль, что является характерным для диффузионных процессов.

Предложенные травители представляют особый интерес, поскольку они характеризуются малыми скоростями травления монокристаллов CdTe и могут использоваться для контролируемого удаления тонких слоев с поверхности и финишной обработки, а также могут стать основой для разработки травителей в технологии ХМП

пленок. Оптимизированы составы полирующих травильных смесей и режимы обработки поверхности методом ХДП (скорости ХДП 0,8-15,3 мкм/мин) указанных материалов при сохранении высоких полирующих свойств растворов. Процесс ХДП следует проводить в интервале температур 290-295 К при скорости вращения диска 84 мин⁻¹, после чего образцы рекомендуется промывать водным раствором тиосульфата натрия, а затем большим количеством дистиллированной воды.

А78 Программная коррекция неоднородности элементов линейчатого фотоприемника и геометрических искажений в тепловизоре

Завадский П.В.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН, Киев, Украина

Разработано программное обеспечение и алгоритмы коррекции ИК-изображений, полученных с помощью тепловизоров, в которых использованы в качестве активных элементов линейчатые фотоприемники с фоточувствительными элементами на основе КРТ, охлаждаемых до криогенных температур $T=(78\div 80)$ К. Эквивалентная шуму разность температур находилась в пределах $NETD=(60\div 100)$ мК, спектральный диапазон функционирования - 2-12 мкм.

Была выполнена:

- программная корректировка геометрических искажений оптического тракта тепловизора;
- программная корректировка неоднородности чувствительности элементов линейки фотоприемников с помощью алгоритма многоточечной коррекции.

Проведено экспериментальное сравнение выбранного метода корректировки, с использованием многоточечной коррекции, 2-х точечной и 3-х точечной коррекций.

Разработанные алгоритмы коррекции позволяют добиться значительного визуального улучшения термограмм, получаемых с помощью тепловизоров, использующих в качестве чувствительных элементов линейки фотоприемников на основе КРТ.

А79 Формирование полированных поверхностей монокристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ травителями систем H_2O_2-HBr –растворитель

Томашик З.Ф., Гнатив И.И., Томашик В.Н., Стратийчук И.Б.

*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН, Киев, Украина
пр. Науки 41; e-mail: tomashyk@isp.kiev.ua*

Исследован характер физико-химического взаимодействия выращенных методом Бриджмена монокристаллов твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ n -типа проводимости с травильными композициями H_2O_2-HBr –растворитель, где в качестве растворителей использовали воду, этиленгликоль (ЭГ), а также водные растворы винной, лимонной и молочной кислот. Химическое травление пластин проводили на установке для химико-динамического полирования (ХДП) с использованием методики вращающегося диска. Скорость растворения образцов определяли по уменьшению их толщины с помощью часового индикатора ИЧ-1 с точностью ± 0.5 мкм. Микроструктуру протравленных поверхностей исследовали с помощью универсального контрольного микроскопа ZEISS JENATECH INSPECTION с цифровой видеокамерой при увеличении от $25\times$ до $1600\times$.

Построены проекции поверхностей одинаковых скоростей травления и установлено, что большую часть (от 80 до 90 %) концентрационных интервалов исследуемых растворов занимают полирующие травители, которые могут быть использованы для ХДП поверхности монокристаллов $Cd_{0,21}Hg_{0,79}Te$. Максимальное значение (≈ 23 мкм/мин) скорость травления принимает в растворах, обогащенных HBr, а минимальное (≈ 1 мкм/мин) – в растворах, содержащих наибольшее количество

растворителя. Введение указанных растворителей в травильные смеси $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HBr}$ -растворитель влияет на характер и скорость процесса травления твердого раствора $\text{Cd}_{0,21}\text{Hg}_{0,79}\text{Te}$. Показано, что при замене одного растворителя на другой скорость химического травления и размер концентрационных областей полирующих растворов увеличиваются в ряду: *этиленгликоль* → *вода, винная кислота* → *лимонная кислота* → *молочная кислота*.

Кинетическими исследованиями скорости растворения (зависимости ее от интенсивности перемешивания и температуры) установлено, что процессы травления в полирующих растворах систем $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HBr}$ -растворитель лимитируются диффузионными стадиями. Кажущиеся энергии активации E_a , определенные из температурных зависимостей в интервале 285-310К, не превышают 35 кДж/моль, что является характерным для диффузионных процессов.

При введении в базовые травители систем $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HBr}$ -этиленгликоль (молочная кислота) дополнительных количеств этиленгликоля скорость химико-механического полирования (ХМП) монокристаллов $\text{Cd}_{0,21}\text{Hg}_{0,79}\text{Te}$ составляет 0,3-15 мкм/мин. Предложенные травители представляют особый интерес, поскольку они характеризуются малыми скоростями травления и могут использоваться для контролируемого удаления тонких слоев с поверхности кристаллов полупроводников и финишной обработки, а также могут стать основой для разработки травителей в технологии ХМП пленок.

Полученные экспериментальные результаты дали возможность впервые разработать, предложить и оптимизировать целую серию бромвыделяющих травильных композиций, которые оказались перспективными для различных технологических обработок монокристаллов твердых растворов $\text{Cd}_{0,21}\text{Hg}_{0,79}\text{Te}$. Оптимизированы составы полирующих травильных смесей и режимы обработки методом ХДП (скорости ХДП 1-23 мкм/мин) указанных материалов при сохранении высоких полирующих свойств растворов. Процесс ХДП следует проводить в интервале температур 290-295 К при скорости вращения диска 86 хв^{-1} , после чего образцы рекомендуется промывать водным раствором тиосульфата натрия, большим количеством дистиллированной воды.

А80 Влияние режимов химической обработки монокристаллов InSb на состав и структуру поверхности

Евсеева О.Н., Кисилева Л.В., Мезин Ю.С., Савостин А.В., Чишко В.Ф., Якунин С.Н.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Многочисленные исследования показали, что параметры приборов на основе узкозонных полупроводников могут существенно зависеть от обработки и состояния поверхности. Были проведены исследования поверхности (100) InSb после химико-механической и химико-динамической полировки с использованием травителей на основе водных растворов перекиси водорода и винной кислоты. Состав поверхностных слоев контролировался методами ЭСХА и Оже-спектроскопии. Показано, что образующиеся на поверхности окислы индия и сурьмы варьируются по толщине в зависимости от обработки, а в некоторых случаях дополняются соединениями элементов основной матрицы с углеродом.

А81 Плазмохимическое осаждение пленок диоксида и нитрида кремния для пассивации поверхности КРТ

Соловьев А.П., Войцеховский А.В., Дульцев Ф.Н., Земцова Т.А., Васильев В.В.
Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия
пр. Лаврентьева, 13, e-mail: vas@thermo.isp.nsc.ru, тел.: (383)3341944

Осаждение диэлектрических плёнок с плазменной активацией реагентов для пассивации CdHgTe (КРТ) затруднено в связи с сильным воздействием плазмы на поверхность. В частности, в приповерхностной области формируются радиационные дефекты донорного типа, и высвобождается химически несвязанная ртуть, которая может диффундировать в кристалл, формируя донорные центры на значительной глубине. Для материала *p*-типа эти процессы обычно приводят к конверсии типа проводимости в приповерхностной области КРТ.

Нами разработаны технологические установки с пространственным разделением областей возбуждения ВЧ-разряда и расположением подложек. Данные источники плазмы позволяют проводить процессы осаждения двухслойного диэлектрика «диоксид кремния – нитрид кремния» при отсутствии электронной и ионной составляющих вблизи поверхности полупроводника. При этом слой SiO₂ обеспечивает высокие электрофизические параметры границы раздела «диэлектрик-полупроводник», а нитрид кремния является защитой от атмосферного и химического воздействия.

Проведено комплексное исследование физико-химических свойств получаемых плёнок с использованием методов эллипсометрии, адсорбционной порометрии, ИК-спектроскопии, РФЭС.

Представлены результаты экспериментальных исследований полевых зависимостей активной и реактивной компонент полного сопротивления МДП-структур КРТ/SiO₂/SiN_x/, а также численного моделирования вольт-фарадных характеристик, в том числе и структур с варизонными слоями.

Показано, что плотность поверхностных состояний существенно меньше для МДП-структур с варизонным слоем. Плотность поверхностных состояний МДП-структур с варизонным слоем составляет вблизи середины запрещенной зоны $(1,7-3,83) \times 10^{11} \text{ эВ}^{-1} \text{ см}^{-2}$.

А82 Ионно-плазменные процессы в технологии изготовления МФЧЭ из КРТ

Бурлаков И.Д., Болтарь К.О., Седнев М.В.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Ионно-плазменные процессы широко применяются в современной технологии изготовления полупроводниковых микросхем элементов, в том числе и фотоприемников. В технологии МФЧЭ из КРТ применяются процессы ВЧ-катодного и магнетронного распыления металлов и диэлектриков, плазмохимического удаления остатков органики фоторезиста, очистки поверхности от сорбированных молекул воды в тлеющем разряде непосредственно перед напылением покрытия, очистки методом ВЧ-катодного распыления следов неорганических загрязнений и удаления окислов, ВЧ-катодного и ионно-лучевого травления диэлектрических и металлических покрытий через фотолитографическую маску и др.

Применение ионно-плазменных процессов в технологии МФЧЭ из КРТ в значительной степени сдерживается возможной деградацией характеристик фотодиодов из КРТ при перегревах из-за неизбежных в этих процессах выделений тепла.

Проведены исследования тепловых нагрузок, возникающих в процессах магнетронного напыления, плазмохимического травления, ВЧ-катодного травления в

диапазоне ВЧ-мощности $0,07 \div 1$ Вт/см². С увеличением ВЧ-мощности, возбуждающей плазму, температура поверхности обрабатываемых пластин возрастает в перечисленных выше процессах неодинаково. Наибольший нагрев обрабатываемой пластины наблюдается при очистке ВЧ-катодным травлением и при мощности 1 Вт/см² может достигать от 160 до 230°C в зависимости от условий охлаждения.

Представлены результаты формирования ионным травлением индиевых столбчатых микроконтактов с шагом до 28 мкм высотой до 10 мкм.

Разработаны и оптимизированы режимы ионно-плазменных процессов напыления, очистки от следов органических загрязнений и окислов для технологии фотодиодов из КРТ, температура пластин в которых не превышает 70°C .

A83 Методика измерения теплопритоков ФПУ с помощью расходомера

Дерюгин М.В., Колесников А.М., Бурлаков И.Д., Мансветов Н.Г., Кудров В.Б.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Существующий метод измерения теплопритоков ФПУ по РТМ 3-1033-77 предполагает замеры времени испарения жидкого азота в количестве 30 мл. при условии начала отсчета, когда в колбе ФПУ осталось 135 мл. жидкого азота. Далее по тепловому балансу испарения азота определяется теплоприток к ФПУ. Замер объемов жидкого азота производится с помощью бюретки, заполненной раствором мыла.

Этот метод достаточно неудобен в практике, требует разработки специальной климатической камеры для проведения замеров при $+$ температуре среды $= 60^\circ\text{C}$ малопригоден при измерении одного из основополагающих параметров ФПУ при проведении ПСИ при мелкосерийном производстве. Предлагаемый метод замера теплопритоков с помощью минирасходомера (до 100 см³/мкм) позволяет свести процесс замера к заливке ФПУ жидким азотом и провести все дальнейшие операции с помощью ПК. При этом достоверность проведенных измерений повышается на 20% .

A84 P-n переходы на основе CdHgTe, полученные облучением

низкоэнергетичными ионами индия и аргона

Исмаилов Н.Д., Гасанов И.С., Гейдаров С.А., Гусейнов Э.К.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

В настоящее время узкозонные материалы *CdHgTe* сохраняют своё лидирующее место в ИК-оптоэлектронике. Низкоэнергетичная ионная обработка широко используется в технологии изготовления ИК-приёмников и выступает в качестве альтернативы традиционной ионной имплантации для получения *p-n* переходов на их основе. В отличие от имплантации ионами больших энергий низкоэнергетичная ионная обработка позволяет получать слои *n*-типа проводимости с низкой концентрацией электронов, высокой их подвижностью и высокими значениями времени жизни носителей заряда.

В настоящей работе сообщается об экспериментальных результатах получения *p-n* переходов методом облучения низкоэнергетичными ионами индия и аргона поверхности *p*-типа *Cd_xHg_{1-x}Te*. Для изготовления *p-n* переходов использовались объёмные монокристаллы *Cd_xHg_{1-x}Te* составов $x=0.19 \div 0.21$ и $x=0.25 \div 0.3$ как вакансионно легированные, так и специально легированные медью и серебром *p*-типа проводимости с концентрацией дырок $p=10^{15} \div 5 \cdot 10^{16}$ см⁻³ при 77 К. Фотодиоды площадью $S_1=10^{-4}$ см² и $S_2=2.5 \cdot 10^{-3}$ см² были сформированы методом фотолитографии как планарного, так и мезаструктурного исполнения. Для получения инверсного слоя образцы подвергали облучению пучком нейтрализованных ионов индия с энергией 5 кэВ и аргона с энергией 250 эВ. Доза облучения варьировалась временем облучения в зависимости от концентрации акцепторов и состава x в подложке. При облучении ионами индия инверсия проводимости поверхностного слоя наблюдается при меньших дозах, чем при облучении

ионами аргона. Качество перехода и механизмы прохождения тока в обеднённой области определялись по измерениям температурной зависимости вольт-амперной характеристики в интервале $T=77\div 300\text{ K}$, а также измерениям параметров фоточувствительности и их спектральных зависимостей. Наилучшие результаты получены на пассивированных планарных структурах для облучённых индием вакансионно-легированных образцах с концентрацией дырок $p=10^{15}\div 5\cdot 10^{16}\text{ cm}^{-3}$.

Для $x=0.2$ сопротивление при нулевом смещении $R\cdot A\geq 100\text{ Ом}\cdot\text{см}^2$, а темновые токи определяются диффузионным и генерационно-рекомбинационными механизмами при $T=77\text{ K}$. При этом максимальное дифференциальное сопротивление для фотодиодов с площадью S_1 наблюдались при смещении 200 мВ , а с площадью S_2 при 50 мВ .

А85 Неохлаждаемый ФЭМ-детектор на основе $\text{Cd}_{0.167}\text{Hg}_{0.833}\text{Te}$

Алиев А.А., Исмаилов Н.Д., Насибов И.А., Ибрагимов Т.И., Гусейнов Э.К.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Ранее нами была представлена работа, в которой был проведен теоретический расчет и приведены результаты разработки и исследования неохлаждаемого ФЭМ приемника на основе $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ состава $x=0,2$ для области спектра $6\div 7\text{ }\mu\text{m}$.

Актуальной является также задача изготовления таких детекторов для детектирования излучения лазера CO_2 , поэтому работа была продолжена именно в этом направлении. В настоящей работе представлены результаты исследования возможности повышения параметров неохлаждаемого ФЭМ приемника $\text{Cd}_{0.167}\text{Hg}_{0.833}\text{Te}$ для области спектра $10\div 11\text{ }\mu\text{m}$ путем введения компенсирующей акцепторной примеси.

Фотоэлектрические параметры вычислялись для фотоприемной площадки, состоящей из трех полосок, каждая шириной $300\text{ }\mu\text{m}$, и имеющей общий размер $A=1\times 1\text{ mm}^2$. Для расчетов значение магнитной индукции принималось равным 1 Тл , ширина запрещенной зоны $E_g = 0.098\text{ eV}$ при $T=300\text{ K}$. Коэффициент поглощения был принят равным 1700 cm^{-1} при длине волны $10.6\text{ }\mu\text{m}$, значение скорости поверхностной рекомбинации – 100 cm/s , а квантовая эффективность – 1 .

Проведенные расчеты показали, что время жизни имеет максимальное значение при степени легирования равном $1.55n_i$ ($n_i=7,396\cdot 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ при $T=300\text{ K}$), а длина амбиполярной диффузии при $2.8n_i$. Сопротивление с увеличением степени легирования увеличивается, но стремится к насыщению.

Установлено, что для вольтовой чувствительности оптимальной является степень легирования $4.9n_i$, а для обнаружительной способности $4.0n_i$. Причем обнаружительная способность повышается почти в 4.7 раза, а вольтовая чувствительность в 12 раз.

Был изготовлен неохлаждаемый ФЭМ детектор из $\text{Cd}_{0.167}\text{Hg}_{0.833}\text{Te}$ с использованием постоянного магнита. Сопротивление изготовленного детектора, составило около 130 Ohm . Максимум спектральной чувствительности находится в районе $10.6\div 11.0\text{ }\mu\text{m}$. На длине волны $10.6\text{ }\mu\text{m}$ чувствительность составляет не менее 95% . Вольтовая чувствительность и удельная обнаружительная способность (на частоте 1200 Hz) составили соответственно $0,24\text{ V/W}$ и $0,2\cdot 10^8\text{ cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}\cdot\text{W}^{-1}$.

А86 Определение состава и спектральной характеристики

ГЭС КРТ МЛЭ

Варавин В.С., Ремесник В.Г., Дворецкий С.А., Михайлов Н.Н., Сидоров Ю.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

пр. Ак. Лаврентьева, 13, E-mail: varavin@isp.nsc.ru

Разработана методика измерения распределения состава однородного фоточувствительного слоя HgCdTe (X_{CdTe}), его толщины (d_{HgCdTe}) и толщины буферного слоя CdTe (d_{CdTe}) по площади пластины гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) теллурида кадмия и ртути (КРТ) с варизонными слоями, выращенных методом

молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на подложках из GaAs (АГ) и Si (К) диаметром до 76,2 мм.

Состав слоя КРТ, его толщина и толщина буферного слоя определяются из анализа спектра пропускания при комнатной температуре. Для определения длинноволновой чувствительности $\lambda_{0,5}$ проводились измерения спектров фотопроводимости при температуре 77К. Измерения проводилось с помощью ИК Фурье-спектрометра (спектральный диапазон 500-5000 см^{-1}), укомплектованного разработанными приставками для сканирования по площади пластины и измерения спектров фотопроводимости. Термостатирование пластины при измерениях в пределах одного градуса обеспечивает измерение распределения X_{CdTe} с точностью не хуже 0,0002 молярных долей.

Для экспрессного определения состава, толщины слоев, $\lambda_{0,5}$ и их карт распределения по площади пластины разработано программное обеспечение. Определение d_{CdTe} основано на анализе интерференционных пиков спектра пропускания для многослойной структуры. X_{CdTe} и d_{HgCdTe} определялись из анализа спектра пропускания с учетом распределения состава КРТ по толщине, полученное при измерениях эллипсометрических параметров в процессе роста. Для составов КРТ в интервале $X_{\text{CdTe}}=0,22-0,35$ и $d_{\text{HgCdTe}} = 8$ мкм построены калибровочные кривые $\lambda_{0,5}$ от X_{CdTe} при температурах 77К и 298 К.

Использование карт распределения состава по площади ГЭС КРТ МЛЭ позволяет производить выбор области для создания многоэлементных матричных структур с заданной длинноволновой границей и ее отклонениями. Также карты распределения состава позволили разработать технологию получения ГЭС КРТ МЛЭ, имеющих высокую однородность состава по площади пластины. Для ГЭС КРТ МЛЭ (АГ) диаметром 50,8 мм максимальное отклонение состава $\Delta X_{\text{CdTe}} \leq 0,002$ от среднего значения $X_{\text{CdTe}} \sim 0,22$, что соответствует отклонению $\Delta \lambda_c \leq 0,25$ мкм.

А87 Применение импульсного УФ-лазера для скрайбирования фотоприёмных матриц и линеек на МЛЭ КРТ

Новоселов А.Р., Клименко А.Г., Васильев В.В.

*Институт физики полупроводников РАН, Новосибирск, Россия
пр. Ак. Лаврентьева, 13, 630090, E-MAIL: Novoselov@thermo.isp.nsc.ru*

Современные системы наблюдения в инфракрасном спектре (ИК) требуют создания бездефектных, большеформатных, с малым шагом (не более 40 мкм) ИК ФПУ.

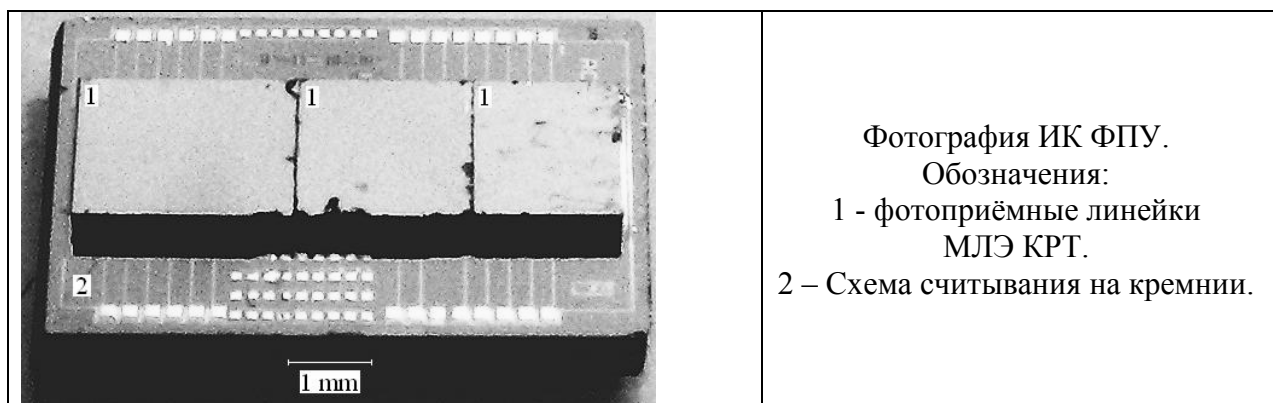
Одним из перспективных направлений является разработка и изготовление гибридных, состоящих из нескольких фотоприёмных матриц МЛЭ КРТ и схем считывания на кремнии ИК ФПУ. Замена монолитной большеформатной фотоприёмной матрицы на составленную из нескольких матриц меньшего формата, позволяет получить матрицу требуемого размера без дефектных ячеек. Основным требованием при этом является неизменность периода следования фотоприёмников при переходе с одной фотоприёмной матрицы на другую, без пропусков по линии стыка.

Нами проведены исследования изменения параметров фотодиодов на основе МЛЭ КРТ в зависимости от расстояния до лазерной скрайбовой канавки и режимов лазерного излучения. В качестве источника лазерного излучения мы использовали импульсный УФ лазер (ЛГИ-21) с длиной волны 0,34 мкм, длительностью 7 нс, с частотой повторения 50 – 100 Гц и мощностью в импульсе 2 кВт.

Найден режим лазерного скрайбирования на расстояниях 18 – 20 мкм от фотодиодов, при которых исходные ВАХ сохраняются.

Разработан метод лазерного скрайбирования линеек МЛЭ КРТ, применимый к созданию гибридных, многомодульных ИК ФПУ. Результатом является неповреждающее

скрайбирование фотоприёмных линеек КРТ, имеющих $\lambda_0=12$ мкм, на расстояниях 18 – 20 мкм от фотоприёмных p-n переходов. На рисунке в качестве примера представлена фотография ИК ФПУ, состоящая из кремниевой схемы считывания 2x64, шаг 30 мкм и 3-х фрагментов фотоприёмной линейки МЛЭ КРТ, состыкованных «безззорно».



A88 Релаксация параметров конвертированных при ионном травлении слоев в $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te: As(Sb)}$

¹Ижнин И.И., ²Власов А.П., ³Мынбаев К.Д.

¹ НИИ материалов НПП «Карат», Львов, Украина

² Львовский национальный университет им. И. Франко, Львов, Украина

³ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

В последнее время ионное травление (ИТ) рассматривается перспективным методом создания фотодиодов не только в вакансионно-легированном p- $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ), но также и в легированном акцепторными примесями As или Au материале [1, 2]. В случае примеси As p-n конверсия типа проводимости обусловлена образованием донорных комплексов междоузельной ртутью, генерируемой в процессе ИТ, и примесью As в подрешетке Te [3]. Однако как было установлено [4], такие комплексы нестабильны и распадаются уже при хранении при комнатной температуре, что вызывает временную релаксацию конвертированных слоев. Это обстоятельство не принималось ранее во внимание при исследовании свойств конвертированных слоев и усложняло интерпретацию экспериментальных фактов, а главное ставит вопрос о возможности создания этим методом стабильных фотодиодов. Исследованию процессов релаксации и посвящена настоящая работа.

Для исследований в работе были использованы монокристаллические варизонные эпитаксиальные слои p- CdHgTe , автолегированные As или Sb, и полученные методом «испарение—конденсация—диффузия» на подложках CdTe:As и CdTe:Sb (111) соответственно, в которых вакансии отсутствовали. Ионное травление осуществлялось ионами Ag^+ с энергией 500 эВ при плотности тока $j=0,1-0,2$ mA/cm^2 , время травления 10-20 мин. Для исследования релаксации электрических свойств образцов после ИТ их подвергали изотермическому и изохронному отжигу на воздухе.

Показано, что образованные при ИТ донорные комплексы, ответственные за конверсию типа проводимости из исходного p-типа в n-тип, являются нестабильными. Концентрация таких комплексов в кристалле уменьшается с течением времени при хранении образцов уже при комнатной температуре, однако полная реконверсия в p-тип не происходит. Поэтому концентрация электронов в основном объеме конвертированного n-слоя в HgCdTe:As совпадает с исходной концентрацией As лишь непосредственно сразу после ИТ. Для HgCdTe:Sb концентрация электронов в основном объеме конвертированного n-слоя уже в первый момент после ИТ меньше концентрации Sb, что

свидетельствует о распаде комплексов в процессе ИТ. Показано, что процесс распада донорных центров может быть ускорен увеличением температуры отжига. Полученные результаты следует учитывать при разработке фотоприемников на основе HgCdTe, создаваемых на основе материала, легированного элементами V группы, с использованием метода ионного травления, а также при проведении исследований свойств конвертированных слоев.

1. Kinch M.A., Chandra D., Schaake H.F., et. al. J. Electron. Mater., **33**,590 (2004).
2. Terterrian S., Chu M., Mesropian S., et. al. J. Electron. Mater., **31**, 720 (2002).
3. Богобоящий В.В., Власов А.П., Ижнин И.И. Известия ВУЗОВ Физика., **44**, 50 (2001).
4. Belas E., Bogoboyashchyu V.V., Grill R., Izhnin I.I., et. al. J.Electron.Mater., **32**, 698 (2003).

А89 Унифицированный тепловизионный прибор на основе микроболометрической матрицы

Тареев А.М., Бондаренко М.М., Чеча Э.П., Панько О.И., Иванейчик В.А.,
Дятлов О.А., Василевич И.Н.
ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь

В докладе представлена разработка унифицированного тепловизионного прибора, проведенная в ОАО «Пеленг». Прибор предназначен для использования в объектах применения различного назначения в качестве унифицированного устройства, преобразующего тепловое излучение объекта в полный телевизионный сигнал.

Прибор построен на основе неохлаждаемой микроболометрической матрицы форматом 320×240, работающей в спектральном диапазоне 8...12 мкм, что обеспечивает высокое тепловое разрешение прибора.

В состав прибора входят:

- модуль тепловизионный микроболометрический;
- пульт управления;
- видеомонитор.

Управление осуществляется с помощью пульта управления, который обеспечивает включение электронного увеличения и прицельной марки, а также регулировку контрастности и яркости тепловизионного изображения. Для фокусировки и компенсации терморасстраиваемости предусмотрен привод подфокусировки, обеспечивающий перемещение одной из линз объектива вдоль оптической оси.

Основные характеристики изготовленного образца:

| | |
|---------------------------------|--------------------|
| Поле зрения, град. | 7×5 |
| Электронное увеличение, крат | 2 |
| Диапазон рабочих температур, °С | от минус 40 до +60 |
| Потребляемая мощность, Вт | 110 |
| Габаритные размеры, мм | 285×195×135 |
| Масса прибора, кг | 9 |

Прибор обеспечивает обзор местности, обнаружение и распознавание цели в сложных метеоусловиях, при наличии пыли и дыма на трассе. Дальность обнаружения активного объекта наблюдения типа «танк», расположенного на открытой местности составляет не менее 3 км вне зависимости от времени суток, дальность распознавания не менее 1,8 км.

Прибор успешно прошел лабораторные и полевые испытания, которые подтвердили его высокие технико-эксплуатационные характеристики.

Секция Б

Б01 Фототермоэлектрогенераторы селективного излучения

Касымахунова А.М., Насретдинова Ф.Н., Холиддинов И.Х.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

E – mail: kasimahunova@rambler.ru

Дополнительное преобразование термоэлектрическими преобразователями (ТЭП) световую энергию в электрическую фототермобатареей (ФТБ), повышает общий к.п.д. прибора [1].

Конструкция фототермоэлектрогенератора (ФТЭГ), разработанного нами, существенно отличается от ФТБ, приводимых ранее в научных изданиях, и предназначен для работы в условиях селективного освещения: фотоэлектрический преобразователь (ФЭП) из Si, установленный под углом 90^0 относительно термоэлектрического, изготовленного из полупроводникового материала тройного соединения на основе теллурида висмута (Bi Te Sb p-тип и Bi Te Se n-тип), освещается световым излучением той длины волны, для которой он чувствителен, то есть при поглощении данного спектра света происходит практически полная генерация электронно–дырочных пар. С помощью оптических, специальных приспособлений, наиболее "теплая" часть излучения разделяется и направляется на поверхность горячих спаев ТЭП.

Расчетно–теоретическое исследование рекомендуемой конструкции ФТЭГ, показали эффективности работы таких преобразователей при выполнении следующих требований:

1. Точный выбор спектрального состава света для ФЭП вводимого в конструкцию ФТЭГ;

2. Высокоточное разделение светового излучения, с учетом чувствительности преобразователей, из общего светового потока, направленного на поверхности ФЭП и ТЭП, с помощью оптических приспособлений;

3. Обеспечение максимального поглощения света на поверхностях ФЭП и ТЭП, путем выбора их из партий преобразователей, изготовленных различными способами.

На основе расчета лежало определение составов спектров излучения разделенного потока, степень чувствительности преобразователей на выбранный спектр света, диапазона длин волн в спектре, механизм генерации электронно–дырочных пар, получение вольт–амперных характеристик и оценка к.п.д. прибора.

При этом к.п.д. прибора вычитывался использованием формул:

$$\text{а) для ФЭП} \quad \eta_{\phi} = \frac{W_{\text{пол.макс}}^{\text{ФЭП}}}{W_{\text{пад}}} ; \quad (1)$$

$$\text{б) для ТЭП} \quad \eta_T = \frac{W_{\text{пол.макс}}^{\text{ТЭП}}}{Q} ; \quad (2)$$

$$\text{в) для ФТЭГ} \quad \eta_{\text{ФТЭГ}} = \frac{(W_{\text{пол.макс}}^{\text{ФЭП}} + W_{\text{пол.макс}}^{\text{ТЭП}})}{(W_{\text{пад}} + Q)} = \frac{\sum W_{\text{пол}}^{\text{ФТЭГ}}}{W_{\text{пад}}^{\text{пол}}} ; \quad (3)$$

В формулах (1÷3) $W_{\text{ФЭП}}$ и $W_{\text{ТЭП}}$ – соответственно значения максимальных полезных мощностей генерируемых на нагрузках ФЭП и ТЭП; $W_{\text{пад}}$ –часть светового излучения падающая на поверхность ФЭП; Q –тепловой поток поступающий на горячий конец ТЭП.

Главное преимущество данной конструкции – исключение нагрева ФЭП за счёт нефотоактивных излучений и высокий к.п.д.

Литература:

1. Касымахунова А.М. Фототермоэлектрические преобразователи и их применение. Монография, Изд–во, Техника, Фергана, 2003г.

Б02 Электродиализный метод умягчения и снижения щелочности воды для технологии изделий МФЭ

Проскурин В.М., Смирнов Н.В.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Обзор способов умягчения и снижения щелочности воды: ионный обмен, непрерывный обмен, непрерывный ионный обмен с использованием ионоселективных мембран и внешнего поля постоянного тока. Приведены примеры для каждого способа.

Рассмотрен метод электродиализного обессоливания воды с использованием ионообменных мембран. Проведено математическое моделирование этой задачи. Для численного решения математической модели использован неполный метод Галеркина, сводящий начально-краевые задачи для уравнения теплопроводности к системе задач Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений, которая решается численно с помощью стандартного численного метода Рунге-Кутты.

Проведенные численные расчеты модельных задач показали эффективность предложенного алгоритма и позволили получить оригинальные сведения о явлениях, протекающих в рассматриваемой задаче.

Б03 Испарительно-дроссельная бортовая система охлаждения на основе универсального газового баллона

Ашихмина Т.В., Довгялло А.И.
Самарский государственный аэрокосмический университет, Самара, Россия

Экономические, эксплуатационные и специальные требования, предъявляемые к емкостям хранения газов и криогенных жидкостей, требуют создания более совершенных конструкций, способных выдерживать большое давление, иметь увеличенный ресурс работы, способствовать снижению потерь рабочего тела, удовлетворять технологиям ускоренной заправки и иметь необходимую живучесть в условиях экстремального применения.

Открытые дроссельные системы охлаждения работают за счет расхода газа (или смесей газов) из баллонов высокого давления. К таким рабочим телам предъявляются повышенные требования по их чистоте, что осуществляется за счет их регазификации из криогенно-жидкого состояния и заправки в баллон компримированием.

Все это приводит к значительным затратам энергии и времени. Использование криогенных жидкостей для систем охлаждения ИК-приемников излучения на борту транспортного средства или летательного аппарата не отвечает требованиям эксплуатации, живучести и длительного хранения.

Таким образом, из приведенного выше следует, что объективно полезным и своевременным будет разработка и создание универсального оборудования, способного удовлетворять существующим технологиям применения компримированных газов и криогенных жидкостей.

Примером совмещения существующих и перспективных технологий является патент «Топливный баллон» Самарского гос. аэрокосмического университета (патент № 2163699, Россия, МПК 7F17C9/02, 99114577/06 заявл. 02.07.1999, опубл. 27.02.2001. Бюл. № 6

Как указывалось выше, наиболее надежными и простыми в эксплуатации, и особенно в военной технике являются баллонные дроссельные системы. Испарительные системы также имеют место. Однако их эксплуатация затрудняется сложностями хранения жидкого криопродукта. В случае использования испарительной системы на охлаждение используется только теплота фазового перехода (испарения) криопродукта. В дроссельной системе используется низкотемпературный потенциал теплосодержания рабочего тела в двухфазной области после его дросселирования.

Идея совместить преимущества этих двух систем была реализована в патенте «Криогенная система охлаждения» (патент № 40443, Россия, МПК 7F25B9/02, 2004111126/22 заявл. 12.04.2004, опубл. 10.09.2004, Бюл. № 25)

При ее функционировании на первом этапе она работает как испарительная с использованием теплоты фазового перехода жидкости, а на втором этапе (после газификации продукта) как обычная дроссельная система. Применение такого баллона в указанной области позволяет также уменьшить время и энергозатраты по заправке и увеличить время функционирования системы охлаждения в 1,5...2 раза либо уменьшить массо-габаритные характеристики системы.

Особым преимуществом такого баллона для этих систем будет ускоренная заправка баллона рабочим телом из криогенно-жидкого состояния, а также способность содержать жидкую фазу в течение нескольких часов и даже суток, что весьма важно в полевых условиях.

Б04 Регистрация нестационарных световых потоков структурами полупроводник- диэлектрик с утечкой

Ковтонюк Н.Ф., Мисник В.П., Соколов А.В.
ФГУП «ЦНИИ «Комета», Москва, Россия

Рассмотрена кинетика электронных процессов в структурах металл - диэлектрик-полупроводник, в которых слой диэлектрика обладает небольшой проводимостью. При питании структуры постоянным напряжением в полупроводниковом слое возникает неравновесная обедненная область. Проанализированы условия, необходимые для формирования устойчивой обеднённой области и для образования в ней фотоэлектрических сигналов. Приведены оценки длительности переходных процессов и параметров слоёв структуры.

Б05 Исследование процесса полирования поликристаллических халькогенидов цинка с использованием смол на основе канифоли

¹Тимофеев О.В., ¹Вилкова Е.Ю., ¹Шихов В.А., ²Кушнер С.Р., ²Радбиль Б.А.

¹*Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия*

²*ООО «Научно-внедренческая фирма Лесма», Нижний Новгород, Россия*

Канифольные смолы являются основным материалом, применяемым при полировании оптических деталей из стекла. Использование живичной канифоли при полировании оптических элементов из поликристаллических халькогенидов цинка, требует ее модификации путем введения глицерина, акриловой кислоты, триэтиленгликоля, а также разнообразных пластифицирующих веществ. Введение добавок приводит к существенному изменению теплофизических характеристик смол на основе канифоли.

Целью нашей работы явилось изучение влияния твердости и температуры размягчения полировальных смол на основе канифоли на качество полированной поверхности оптических элементов из селенида и сульфида цинка.

Пригодность смол оценивали по совокупности трех параметров – чистоте и геометрии поверхности обрабатываемых оптических деталей и величине скорости съема материала.

В результате экспериментов были получены зависимости изменения массы образцов ZnSe и ZnS в процессе полирования от времени, при постоянных условиях. На основании полученных зависимостей рассчитана скорость съема в процессе механического полирования для образцов селенида и сульфида цинка. Показано, что в процессе обработки скорость съема зависит от температуры размягчения полировальной смолы, и увеличение этой температуры на 10°С приводит к увеличению скорости съема, в

процессе полирования, более чем на 70 %. Наибольший съём наблюдался на смоле, температура размягчения которой составляла 73,5°C, и величина его составила $1 \cdot 10^{-2}$ г/(ч·см²). Увеличение температуры размягчения смолы позволяет сократить время обработки, однако наилучшая поверхность, по совокупности трех параметров, была получена на смоле, которая имела температуру размягчения 70°C.

Качество поверхности полированных оптических элементов из селенида и сульфида цинка, соответствовало 3 классу чистоты по ГОСТ 11141-84, с отклонением по плоскости не более одного интерференционного кольца ($N \leq 1$), местная ошибка не превышала 0,1 интерференционного кольца ($\Delta N \leq 0,1$).

Б06 Технология изготовления и сборки сканирующих зеркальных систем

Солк С.В., Яковлев А.А.

*ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия
188540, т. (81369) 21188 e-mail: solk@sbor.net*

В настоящее время в ИК приборах с одноэлементными приёмниками излучения широкое распространение получили сканирующие системы (сканеры) представляющие собой комплект зеркал с разными углами наклона оптической поверхности к основанию, закреплённые на плане и вращающиеся вокруг оси. Зеркала изготавливаются из алюминиевого сплава АМг-6, что позволяет получить на единой заготовке оптическую и базовые поверхности, а так же элементы крепления - резьбовые и гладкие отверстия.

В работе рассмотрены технологические процессы изготовления зеркал (полированием и алмазным микроточением) и сборки сканеров. Выбор технологии определяется как конструкцией и точностными требованиями к сканеру, так и серийностью их изготовления.

Рассмотрена «совмещённая технология», позволяющая совместить технологические процессы формообразования и сборки. Такая технология позволяет добиться максимальной точности получения геометрических параметров сканеров и является на наш взгляд наиболее перспективной.

Даны рекомендации по конструированию оптических элементов. Рассмотрены технологические факторы, влияющие на точность геометрических и оптико-физических параметров.

Б07 Использование монокристаллического кремния в ИК-линзовых объективах

Солк С.В., Сабинин В.Е., Нужин В.С.

*ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия
т. (81369) 21188 e-mail: solk@sbor.net*

Монокристаллический кремний (МК) широко применяется в ИК объективах, работающих в области спектра 3-5 мкм. МК кремний технологичен (возможна его обработка, как полированием, так и алмазным микроточением) и сравнительно дешёв. МК кремний образует хроматическую пару с германием, что позволяет спроектировать триплет ахромат по схеме Si-Ge-Si, удовлетворяющий высоким требованиям к качеству изображения [1].

Основной проблемой, возникающей при изготовлении линз из МК, является низкое качество заготовок. Входной контроль заготовок ведётся по следующим параметрам:

- измерение показателей преломления и дисперсии в рабочем интервале длин волн.
- измерение спектрального или интегрального коэффициента пропускания.
- интегральная оценка качества заготовки по изменению функции передачи модуляции (ФПМ) эталонного объектива, перед которым в параллельном пучке лучей

устанавливается плоскопараллельная пластина из МК. На изменение ФПМ влияют градиент показателя преломления, двулучепреломление, внутреннее рассеяние и другие параметры.

Проведённые измерения показали, что 90% заготовок из МК кремния, изготовленного в России, непригодно для изготовления линз, в первую очередь из-за низкого коэффициента пропускания [2]. На наш взгляд, производство МК оптического качества сдерживается как нормативными документами, ориентированными на контроль в первую очередь электронных параметров, так и отсутствием простых и дешёвых приборов измерения оптических параметров. Такие приборы могут быть созданы на основе диодных светоактивных элементов [3], используемых как в качестве излучателей, так и в качестве детекторов излучения.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Л.В.Васильева, О.А.Лебедев, В.С.Нужин, С.В.Солк. Проектирование и изготовление линзовых объективов для работы в инфракрасной области спектра. // Оптический журнал. – 2003 - том 70. - №4 - С.72-75.

2. В.Е.Сабинин, В.С.Нужин, С.В.Солк Использование кремния и германия в оптическом приборостроении. Требования к качеству и методы контроля. // Кремний-2004. Тезисы докладов Совещания (Иркутск 5-9 июля 2004 г.).- Иркутск: Издательство Института географии СО РАН, 2004, с.207.

3. В.Е.Сабинин, С.В.Солк, Б.А.Матвеев. Диодные светоактивные элементы нового поколения в оптике и фотометрии. //Сборник трудов международной конференции «Прикладная оптика –2004», 18-21 октября 2004, Санкт-Петербург, Том 1 (1),с.200-204.

Б08 Мини-комплекс для проведения климатических испытаний оптических покрытий

Сабинин В.Е., Солк С.В., Шевцов С.Е.

*ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия
т. (81369) 21188 e-mail: solk@sbor.net*

ИК оптические системы, как правило, функционируют в сложных климатических условиях при воздействии на них колебаний температуры, влажности, атмосферных осадков, агрессивных сред (морской воды, соляного тумана), пыли, песка и других факторов. Перед разработчиками просветляющих, отражающих, защитных и других оптических покрытий возникает дилемма - выбрать покрытие с высокими оптическими параметрами или бороться за повышение их устойчивости, что часто ведёт к ухудшению оптических характеристик. Решение проблемы затруднено тем, что испытания - процесс трудоёмкий и дорогостоящий.

Нами создан, изготовлен и испытан малогабаритный настольный комплекс, отработаны методики проведения следующих испытаний.

1. Испытание покрытий на устойчивость к влажной атмосфере. За основу взяты требования Американского стандарта MIL-C-48497A. Испытания проводятся в водяном термостате в интервале температур 25-70°C.

2. Испытание покрытий на устойчивость к воздействию соляного тумана. Разработанная установка позволяет создавать и поддерживать воспроизводимые условия – температуру, влажность и содержание соли (NaCl) на оптической поверхности.

3. Испытание на устойчивость к абразивному воздействию. Основная задача испытаний - создание воспроизводимых условий взаимодействия абразивных материалов с оптической поверхностью. В разработанной установке отсутствуют преимущественные направления этого взаимодействия, а их поддержание во времени обеспечивается с высокой точностью.

Установки просты в обслуживании, занимают мало места и могут быть размещены на письменном столе. Комплекс апробирован при разработке и выборе просветляющих и отражающих покрытий ИК оптических элементов. Они подтвердили свою эффективность при испытании оптических систем в специализированной лаборатории на стандартном оборудовании по существующим ГОСТам.

Б09 Технология изготовления крупногабаритного облегченного зеркала из алюминиевого сплава

Яковлев А.А., Солк С.В.

ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

188540, т. (81369) 21188 e-mail: solk@sbor.net

В рамках проекта «Рамос» изготовлено шесть облегченных зеркал с плоскими рабочими поверхностями. Массогабаритные и термомеханические требования к оптическим зеркальным системам подобного класса налагают ограничения на материал для изготовления зеркал, оставляя для выбора Ве, SiC и Al. В то же время необходимые теплофизические свойства системы обеспечивает только металлическое зеркало.

Для изготовления облегченных (75%) зеркал размером 410x275 мм был выбран алюминиевый сплав марки 1201 (деформируемый, жаропрочный, криогенный сплав Al-Cu-Mn). Материал отличается высокими пластическими свойствами, коррозионной стойкостью, гомогенностью и изотропностью тепловых и механических характеристик, временной стабильностью, постоянством механических свойств в широком температурном диапазоне. Зеркала изготавливались из прокованной плиты, прошедшей термическую обработку («искусственное старение» и термоциклирование) для стабилизации геометрических размеров.

Традиционная обработка алюминиевых сплавов методом классического полирования свободным притиром не позволяет получить необходимые оптико-физические характеристики вследствие шаржирования обрабатываемой поверхности. Использование технологии алмазного микроточения позволяет получить высокоотражающие поверхности. Однако существующая технология не позволяет достичь требуемых значений по форме рабочей поверхности таких габаритов. Поэтому была разработана комплексная технология, включающая в себя:

-алмазное микроточение для создания базовой макроформы (минимизация по сферичности и местным ошибкам);

-доводка свободным притиром (минимизация астигматической ошибки и снижение коэффициента рассеяния).

Полученные результаты $RMS_{wf}=0.266\lambda$; $PV_{wf}=1.04\lambda$ ($\lambda=0.633\mu\text{м}$); $R_q=30.3\text{Å}$; $R_{\text{зерк.}}=0.96\%$ ($\lambda=10.6\mu\text{м}$) свидетельствуют о том, что разработана комплексная технология, позволяющая изготавливать плоские облегченные зеркала из алюминиевых сплавов с высокими оптико-физическими характеристиками.

Б10 Усовершенствованная методика определения функции передачи модуляции ИК-объективов

Нужин В.С., ¹Нужин А.В., Солк С.В.

ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

¹ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

т. (81369) 21188 e-mail: solk@sbor.net

Одной из наиболее распространённых характеристик качества объективов, работающих с матричными фотоприёмниками, является функция передачи модуляции (ФПМ). Для ИК объективов измерение ФПМ имеет ряд особенностей, связанных со сложностью изготовления тест объектов и выбором средств анализа изображения. На

практике на стенде с ИК коллиматором измеряется функция рассеяния линии (ФРЛ), а затем путём преобразования Фурье определяется ФПМ объектива [1].

Недостаток методики - сложность изготовления приёмной щели и низкое соотношение «сигнал-шум» при измерении объективов с малым (10-30 мм) диаметром входного зрачка и объективов, работающих в узком спектральном диапазоне. При контроле заготовок ИК линз малого диаметра по методике, описанной в работе [2], приходится вводить дополнительную технологическую операцию - наносить просветляющее покрытие.

Нами разработана и апробирована усовершенствованная методика определения ФПМ, основанная на измерении функции рассеяния края. В отличие от известной методики [1] щель устанавливается в фокальной плоскости коллиматора и является тест-объектом. Сканирование её изображения осуществляется краем полуплоскости, установленной в плоскости изображения испытуемого объектива. Такое решение не требует изготовления щелей микронной ширины с жёсткими допусками. Сканирование краем полуплоскости позволяет численно проинтегрировать ФРЛ и получить исходные данные для расчёта ФПМ по разработанной программе.

В работе приводится оценка точности усовершенствованной методики и результаты измерений ФПМ ИК объектива, проведённые по различным методикам.

1. М.Я. Шульман. Измерение передаточных функций оптических систем. –Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 208 с.

2. Л.В.Васильева, О.А.Лебедев, В.С.Нужин, С.В.Солк. Проектирование и изготовление линзовых объективов для работы в инфракрасной области спектра. // Оптический журнал, том 70, №4, 2003, с. 72-75.

Б11 Роторно-лопастной компрессор для бортовой системы охлаждения

Довгялло А.И., Коломин И.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, Самара, Россия

Несмотря на значительный многолетний опыт захлаживания ИК-приемников, сами системы охлаждения не отличаются большим разнообразием, что объясняется особенностями конструкции термомеханических преобразователей — газовых криогенных машин (ГКМ) и дроссельных систем. В основе тех и других обязательно присутствуют блоки сжатия (компрессоры) и расширительные устройства (детандеры или дроссели). Определяющим термодинамическую эффективность системы обычно является компрессорный блок.

Повышенные требования к компрессорам микрокриогенных систем диктуют не только обеспечение соответствующих уровней производительности и степени сжатия, но и ресурса, а также уровня допустимых вибраций и их частотного спектра. В связи с этими обстоятельствами разработка роторно-лопастного компрессора (РЛК), удовлетворяющего вышеперечисленным требованиям, является актуальной задачей.

По расчетным характеристикам РЛК обеспечивает вышеуказанные компромиссные требования и частично превосходит характеристики известных типов компрессоров. Особо актуален предлагаемый компрессор для уровня малых производительностей, то есть в области микрокомпрессоров.

Роторно-лопастной компрессор содержит кольцеобразную полость переменного объема прямоугольного сечения, внутри которой колеблются две пары лопастей, выполняющие функцию поршней. Замкнутый объем каждой из четырех рабочих камер создается между неподвижными стенками корпуса и двумя подвижными лопастями, совершающими возвратно-вращательное движение. Рабочий процесс РЛК организован таким образом, что в то время, когда в одной паре рабочих камер происходит такт сжатия и выпуска, в другой паре рабочих камер осуществляется такт впуска. Впуск и выпуск

рабочего тела производится через отверстия, расположенные в каждой точке корпуса, где сходятся лопасти. Конструкция РЛК исключает появление продольных вибраций, характерных для поршневых компрессоров.

В публикации приведены исследования рабочего процесса роторно-лопастного компрессора, разработанного по техническим требованиям к системам охлаждения для бортовой ИК-аппаратуры. На основе принятых конструктивных параметров определены основные характеристики рабочего процесса. Особое внимание уделено определению коэффициента герметичности путем использования методик расчета перетечек рабочего тела через бесконтактные уплотнения. Полученные значения производительности компрессора позволяют сделать вывод о возможности использования щелевых уплотнений в конструкции РЛК. Показана перспективность использования РЛК для компрессорного блока бортовой микрокриогенной системы охлаждения.

Б12 Преобразователь ИК-изображения на основе GaAs и его возможные модификации

¹Лебедева Н.Н., ¹Агасиев А.А., ^{1,2}Саламов Б.Г.

¹Гази университет, физический факультет, Анкара, Турция

²Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Тел. +90 312 2126030; Факс: +90 312 2122279; bala@gazi.edu.tr

Плоская газоразрядная ячейка с высокоомным фоточувствительным полупроводниковым электродом используется в качестве рабочего элемента преобразователя ИК изображения. Замена металлического электрода *GaAs:Cr* фотоприемником позволяет избежать шнурование разряда и получать равномерное по всей площади электрода свечение в узком (десятки мкм) газоразрядном зазоре. Получение изображения построено на принципе локальной управляемости тока газового разряда. Изображение формируется в фиолетовом свечении плазмы и затем усиливается ЭОПом с микроканальным усилением. Выходное ИК изображение можно наблюдать на ЭОПе. Спектральный диапазон чувствительности устройства (1,1÷11 мкм) задается чувствительностью фотоприемника. Такой ИК-преобразователь реализован на фотоприемнике из *GaAs:Cr* ($\rho=10^7-10^8$ Омсм, длинноволновая граница фоточувствительности 1,7 мкм при 300 К). Быстродействие такого преобразователя $2 \cdot 10^{-8}$ с, разрешение – 16 лн/мм. Модификации не дорогих устройств, изготовленные и опробованные нами, следующие: 1 – неразрушающий экспресс-контроль неоднородностей сопротивления высокоомных полупроводниковых пластин большого диаметра, используемых в электронной технике; 2 – несеребряные фотографические изображения; 3 – равномерное плазменное травление поверхности; 4 – источник пространственно-равномерного УФ-видимого излучения большого диаметра; 5 – наблюдение диссипативных структур в газовой плазме.

Б13 Сравнительный анализ качественных характеристик и технологических требований при изготовлении систем переноса изображения с экрана ЭОП для ПНВ с ВОП и без ВОП

Касацкий Ю.В., Олейник С.В.

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

В некоторых моделях очков ночного видения, выпускаемых ОАО "Катод" применяется ЭОП 2+ поколения без волоконно-оптического преобразователя. Это усложняет оптическую систему переноса изображения с экрана ЭОП к глазу наблюдателя.

Одной из причин, снижающих качество наблюдаемой сцены, является кривизна изображения. Для ее исправления в систему вводят дополнительные компоненты, имеющие достаточно крутые радиусы преломляющих поверхностей. Введение таких

компонентов приводит к повышению технологических требований в процессе изготовления системы. Дополнительные компоненты, к тому же, увеличивают общую массу прибора, что для наголовных систем имеет большое значение.

Применение в очках ночного видения ЭОП с волоконно - оборачивающей пластиной (ВОП) позволяет отказаться от исправления кривизны изображения оптической системой и полностью переложить эту функцию на ВОП. В связи с этим возможно выполнение радиусов оптических преломляющих поверхностей более пологими. Соответственно, возможно и ослабление технологических допусков при изготовлении системы.

В данной работе проведен анализ допусков для систем с ВОП и без ВОП. Приведены масса - габаритные характеристики для обеих систем. Проведено сравнение качественных характеристик.

Б14 Нелинейные свойства вольт-амперных характеристик газоразрядного зазора с полупроводниковым электродом

Орбух В.И., Лебедева Н.Н., Боброва Е.Ю.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

e-mail: orbukhf@rambler.ru

Плоская газоразрядная ячейка с узким (десятки микрон) зазором между прозрачным металлическим электродом и электродом из высокоомного и фоточувствительного полупроводника является основным рабочим элементом преобразователя ИК-излучения в видимое, который является предметом наших исследований. ВАХ ячеек двух типов: 1 - оба электрода металлические и 2 - один из металлических электродов заменен на полупроводниковый, показало, что в ячейке типа 2 пробой газа наступает при меньших напряжениях и ток равномерно распределен по сечению.

В настоящей работе рассматривается причина понижения напряжения зажигания разряда и его равномерного распределения по сечению при замене одного из металлических электродов на полупроводниковый. Установлено, что контакт S-образного (газовый зазор) и линейного (полупроводник) объектов помимо обычной неустойчивости по отношению к флуктуациям полного тока, обладают еще неустойчивостью по отношению к флуктуациям потенциала на границе полупроводника и газового зазора при фиксированном напряжении на всей структуре. Если первый тип неустойчивости реализуется при отрицательном полном сопротивлении, то второй тип неустойчивости имеет место при отрицательной полной проводимости, что достигается при гораздо меньших напряжениях. В случае двух металлических электродов флуктуации потенциала на границе нет и реализуется только первый тип - неустойчивости со шнурованием тока. Если же один из электродов полупроводниковый, то флуктуации на границе раздела (при малых напряжениях) переводят систему в состояние неустойчивости по отношению к флуктуациям первого типа и возникает разряд.

Отметим, что проведенный расчет полностью согласуется с тем экспериментальным фактом, что эффект не зависит от полярности приложенного напряжения.

Б15 Характеристики обнаружения малоразмерных объектов с помощью оптико-электронных систем визуализации

Эдельштейн Ю.Г.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Малоразмерными считаются такие объекты (МРО), которые больше одного элемента изображения, но не могут быть разложены на самостоятельные составные части. Оценка возможности обнаружения МРО на основе критериев Джонсона с помощью метода эквивалентных мир является не вполне корректной, т. к. предусматривает

периодический сигнал и коэффициент его передачи в виде модуляционной передаточной функции (МПФ). МРО формирует аperiodический сигнал, его преобразование оптико-электронной системой визуализации (ОЭСВ) должно описываться аperiodической передаточной функцией (АПФ). Однозначного определения АПФ пока не выработано.

Представляется, что двумерная АПФ K_{MPO} наиболее адекватно может быть определена следующими соотношениями, в основе которых лежит теорема Парсеваля:

$$K_{MPO} = \left[\frac{\int_{-\infty}^{\infty} t_O^2(v) t_Z^2(v) dv}{\int_{-\infty}^{\infty} t_O^2(v) dv} \right]^2$$

или применительно к тесту в виде квадрата:

$$K_{MPO} = \left[d \times \int_{-\infty}^{\infty} t_O^2(v) t_Z^2(v) dv \right]^2,$$

где $t_O(v) = \text{sinc}(d, v)$ - пространственно-частотный спектр объекта, имеющего прямоугольную функцию рассеяния; $t_Z(v)$ - МПФ ОЭСВ, равная произведению входящих в ОЭСВ звеньев; $d = \left(\int_{-\infty}^{\infty} t_O^2(v) dv \right)^{-1}$ - эквивалентный размер объекта, мм, (по Сендаллу); v - пространственная частота, мм^{-1} .

Тогда известное уравнение, определяющее воспринимаемое оператором отношение сигнал/шум (ОСШ) на выходе системы, можно привести к следующему виду:

$$Q = (c/w) K_{MPO}(d) d \sqrt{k_{PP} k_{BP}} / A. \quad (1)$$

Здесь (c/w) - ОСШ сигнала, поступающего с первичной чувствительной площадки приёмной матрицы; для систем телевизионного типа, работающих по отражённому излучению, $(c/w)_E = |E_O - E_\Phi| / \Delta E$, где E_O и E_Φ - освещенность объекта и фона, приведённые к приёмной матрице; ΔE - пороговая освещенность ПЗС матрицы. Для тепловизионных систем $(c/w)_T = \Delta T_{MOT} / \Delta T_{ЭШ}$, где ΔT_{MOT} - минимальная обнаруживаемая разность температур, $\Delta T_{ЭШ}$ - разность температур, эквивалентная шуму. k_{PP} , k_{BP} - коэффициенты пространственного и временного интегрирования шумов, A - площадь пикселя, мм^2 .

Результаты расчётов по уравнению (1) представляются в виде распределения вероятности обнаружения $P(Q)$, подчиняющегося логнормальному закону. Для этого распределения имеется удобная аппроксимация: $P(Q) = \frac{(Q/Q_{50})^{2,7+0,7(Q/Q_{50})}}{1 + (Q/Q_{50})^{2,7+0,7(Q/Q_{50})}}$,

где Q_{50} - значение воспринимаемого оператором ОСШ, соответствующее обнаружению объекта с вероятностью 50%; по разным данным $Q_{50} = 2,5 \dots 3,2$.

Б16 Некоторые особенности модуляционной передаточной функции оптико-электронных систем визуализации

Эдельштейн Ю.Г.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Оценка основных потребительских возможностей оптико-электронной систем визуализации (ОЭСВ) опирается на модуляционные передаточные функции (МПФ) входящих в неё звеньев: оптической системы, матричного фотоприёмного устройства и системы отображения информации на основе матричного индикатора или электронно-лучевой трубки

Рассматривается возможность модификации общепринятых выражений МПФ, в целях обеспечения удобства практической оценки различного рода ОЭСВ в процессе проектирования.

В основе предлагаемой модификации лежат следующие положения:

1. Поскольку наиболее доступной для описания и измерений является предельная разрешаемая частота (ПРЧ) звеньев ОЭСВ, представляется целесообразным в качестве параметра уравнений МПФ принять именно ПРЧ.

2. Известно, что МПФ ОЭСВ, являющаяся произведением частных МПФ звеньев, аппроксимируется квадратичной экспонентой (гауссоидой). Показано, что параметр уравнения МПФ системы (её ПРЧ V_Z) в этом случае, в соответствии с правилом Парсевала, численно равен интегралу от произведения частных МПФ $t_i(v)$:

$$V_Z = \int_{-\infty}^{\infty} \prod t_i(v) dv.$$

С другой стороны, эффективная полоса частот ОЭСВ с матричным фотоприёмным устройством ограничена частотой Найквиста V_N

3. Пространственная частота может быть выражена как количеством оптических (двойных) штрихов на миллиметр (v), так и числом разрешаемых телевизионных линий (строк) на кадр (n ТВЛ). Между v , n и параметрами приёмной матрицы (высотой кадра b и числом строк N) существует следующая связь: $n=2bv$; частота Найквиста $V_N=N/2b$.

4. Реальные МПФ должны учитывать неизбежное рассеяние света и фотоэлектронов вследствие бликов, переотражений, боковой диффузии носителей, межэлементных связей и пр. Указанные эффекты влекут за собой появление пьедестала функции рассеяния, увеличение зоны размытия краевой функции и снижение контрастности изображения, практически не уменьшая предельного разрешения. Для учёта рассеяния необходимо ввести соответствующий множитель p_i , равный значению МПФ на нулевой частоте. Соответствующий показатель светорассеяния системы в целом $p_Z = \prod p_i$.

$$\text{Уравнение МПФ системы принимает следующий вид: } t_Z(v) = p_Z \exp(-\pi v^2 / V_Z^2)$$

Известна удовлетворительная линейная аппроксимация этого соотношения в рабочем диапазоне частот ОЭСВ, ограниченном частотой Найквиста V_N :

$$t_Z(v) = p_Z (1 - kv / V_N) \quad \text{где } k = 1 - t_Z(V_N) / p_Z.$$

В реальных системах $p_Z=0,7...0,8$; значение k зависит от типа индикатора и составляет $0,7...0,8$ для ЭЛТ и $0,5...0,6$ для матричных индикаторов.

В «телевизионной» форме уравнение МПФ ОЭСВ записывается следующим образом: $t_Z(n)=p_Z(1-kn/N)$.

Линейная интерпретация МПФ позволяет представить основные уравнения ОЭСВ в явном виде относительно пространственной частоты.

Б17 Активно-импульсный ночной бинокль

Баяканский М.А., Волков В.Г., Саликов В.Л., Украинский С.А.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Рассматривается схема, и описываются основные технические характеристики портативного активно-импульсного ночного бинокля. Он обеспечивает распознавание ростовой фигуры человека в пассивном режиме на дальности до 500 м (звездная ночь), в активно-импульсном режиме – на дальности до 800 м. Угол поля зрения бинокля в пассивном режиме составляет 10° , в активно-импульсном режиме $1,5 \times 0,75^\circ$, точность измерения дальности не хуже ± 10 м, масса не более 1,2 кг, энергопотребление не более 5 Вт при питании от напряжения 12 В постоянного тока.

Б18 Повышение достоверности статистического контроля вероятности вскрытия объектов по тепловизионному изображению

Овсянников В.А., Филиппов В.Л.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

При решении таких задач, как контроль дальности действия тепловизионных приборов (ТВП) или качества тепловой маскировки объектов возникает проблема повышения достоверности принимаемого решения о том, что вероятность P вскрытия (обнаружения или распознавания) зачетного объекта не ниже или не выше требуемого значения P_1 , поскольку, в связи с ограниченным числом задействованных на испытаниях операторов–дешифровщиков, отмеченная достоверность, как правило, невысока. С этой целью предлагается статистическую оценку P^* вероятности вскрытия данного объекта производить с дистанции D_2 , которая в 1,3-1,5 раза больше или меньше (при контроле выполнения требований $P \geq P_1$ или $P \leq P_1$ соответственно) нормированной величины D_1 .

В частности, при контроле дальности действия ТВП нижняя граница P_1 доверительного интервала для вероятности вскрытия объекта, соответствующая достаточно высокой доверительной вероятности $R(P \geq P_1) = 0,8 - 0,9$, составляет

$$P_1 = 1 - (1 - P_2)^Q;$$

$$Q = \frac{D_2 f^{-1}(\Delta T_R \tau_{a1})}{D_1 f^{-1}(\Delta T_R \tau_{a2})},$$

где P_2 – нижняя граница доверительного интервала для вероятности вскрытия объекта с дистанции D_2 , отвечающая полученной оценке P^* и той же вероятности $R(P \geq P_2) = R(P \geq P_1)$;

ΔT_R – разность радиационных температур объекта и фона;

τ_{a1}, τ_{a2} – коэффициенты пропускания атмосферы на дистанции D_1 и D_2 соответственно;

$\Delta T_{раз} = f(\nu)$ – температурно-частотная характеристика ТВП.

Очевидно, при $Q > 1$ имеем $P_1 > P_2$; если при этом P_1 превышает требуемое значение, например 0,8, то уже с достаточно высокой достоверностью можно утверждать, что дальность действия испытуемого ТВП не ниже нормированного значения D_1 .

Б19 Особенности технологии создания систем тест-объектов для контроля температурно-частотных характеристик

тепловизионных приборов

Дучицкий А.С., Косковский С.В.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

Практика работы с тепловизионными приборами (ТВП) показала, что одним из основных параметров по оценке качества ТВП является температурно-частотная характеристика (ТЧХ) – зависимость разрешаемой разности температур от пространственной частоты полос тест-объекта (штриховой миры).

Для ввода изображения тест-объекта (штриховой миры) в поле зрения ТВП применяются ИК-коллиматоры, обеспечивающие имитацию параллельности хода луча от тест-объекта. В идеальном случае необходимо создание тест-объекта, который бы имитировал спектральный состав, силу излучения и геометрию объектов и фонов.

К настоящему времени системы тест-объектов представляют собой источники разностных (дифференциальных) температур, имеющие стабильность воспроизведения

разности температур от $\pm 0,03$ до $\pm 0,001^\circ\text{C}$ и обеспечивающие градиент температур по миру не хуже $0,1^\circ\text{C}$ [1].

Создание таких систем тест-объектов имеет свои особенности. Это связано, прежде всего, с необходимостью достижения наименьших искажений при формировании изображения тест-объекта в поле зрения оптической системы ТВП, которое напрямую зависит от точности воспроизведения разностей энергетических яркостей и радиационных температур.

В докладе рассматриваются особенности создания основных типов тест-объектов:

- излучающе-пропускающие, выполненные в виде прорезных полос на металлической подложке;

- пропускающе-отражающие, выполненные на стеклянной подложке.

До последнего времени для создания систем тест-объектов активно применялись технологии, как химического травления, так и фотолитографии.

В настоящее время, в связи с существенным ростом технологических возможностей изготовления тест-объектов, ФГУП НПО «ГИПО» имеет ряд разработок, позволяющих изготавливать комплексные излучающе-пропускающие тест-объекты для контрольно-проверочной аппаратуры с минимальными затратами.

Основной особенностью создания комплексных тест-объектов является возможность ведения непосредственного контроля температуры тест-объекта и, как следствие этого, увеличение точности измерений ТЧХ.

Литература:

1. Бугаенко А.Г., Иванов В.П., Омелаев А.И., Тевяшов В.И., Филиппов В.Л. Физические основы и техника измерений в тепловидении. – Казань: Отечество, 2003. – С.200.

Б20 Установка для контроля параметров инфракрасных объективов

Дучицкий А.С, Косковский С.В.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия
420075, ул. Липатова, 2

Отсутствие возможности наблюдения непосредственно глазом изображения в фокальной плоскости инфракрасных (ИК) объективов влечет за собой необходимость создания специальных стендов (установок) для преобразования ИК изображения в видимое. Потребность в таких установках особенно очевидна при юстировке ИК объективов с переменным фокусным расстоянием, когда фокальные точки для каждого фокусного расстояния должны быть совмещены в заданном месте на оптической оси объектива с необходимой точностью.

Для повышения точности юстировки ИК объективов с переменным фокусным расстоянием предложена установка на основе матричного фотоприемного устройства, в котором применена инфракрасная проекционная система и реализовано увеличение наблюдаемого изображения тест-объекта, с выводом изображения на видеоконтрольное устройство.

В докладе рассматривается принцип построения схемы установки для контроля параметров ИК объективов, приводятся некоторые технические данные, особенности, возможности данной установки. Проводится сравнение с известными аналогичными установками, разработанными к настоящему времени в ФГУП НПО «ГИПО», ГОИ им. Вавилова, НПО «Орион» и других организациях, занимающихся поставкой потребителю ИК техники гражданского применения и военного назначения.

В заключительной части доклада будут приведены некоторые практические результаты экспериментальных исследований, полученные в ходе проведения работ на установке, подтверждающие правомерность выбранных технических решений.

Б21 Лазерно-голографический комплекс для технологического и аттестационного контроля оптических элементов и объективов в инфракрасном диапазоне спектра 3-12 мкм

Дучицкий А.С., Лукин А.В., Маврин С.В., Мельников А.Н.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

Актуальной задачей исследования и производства современных тепловизионных приборов (ТВП) является контроль качества их оптической элементной базы и инфракрасных (ИК) объективов как самостоятельных модулей в составе ТВП [1].

Существуют несколько методов оценки качества изображения ИК объективов. В современном оптико-электронном приборостроении наиболее распространенным методом является контроль ТВП в целом по тест-объекту (комплекту мир) путем исследования его температурно-частотной характеристики. Данный метод не позволяет отделить характеристику ИК объектива от характеристик других модулей ТВП, оказывающих влияние на качество изображения.

Технологический и аттестационный контроль качества изображения ИК объектива, как правило, основывается на применении метода измерения размеров его наименьшего кружка рассеяния и измерения распределения интенсивности в кружке рассеяния. Но при реализации такого метода требуется наличие сложной системы сканирования с возможностью построения пространственного распределения интенсивности в кружке рассеяния проверяемого объектива [2].

Альтернативным методом оценки оптического качества ИК объектива выступает интерференционный метод, который обладает наибольшей информативностью, не предъявляет высоких требований к разрешающей способности фотоприемного устройства (ФПУ) и не критичен к нестабильности источника излучения и к неравномерности зональной чувствительности ФПУ по сравнению с упомянутыми выше методами.

В докладе представлена функциональная схема автоматизированного лазерно-голографического комплекса для технологического и аттестационного контроля отдельных оптических элементов и объективов в ИК-диапазонах спектра 3 – 5 и 8 – 12 мкм. В состав комплекса входят одноподовые лазерные источники ИК-излучения, коллиматор, интерферометр, ФПУ, интерфейс и персональный компьютер с программным обеспечением расшифровки интерферограмм, обработки и документирования результатов измерений. Приводятся результаты экспериментальных исследований.

Литература:

1. Иванов В.П., Бугаенко А.Г., Лукин А.В., Мельников А.Н., Морозов А.Е. Инфракрасные объективы тепловизионных приборов и лазерные средства измерений их параметров //Прикладная физика. 2005. № 2. С. 91 – 93.

2. Иванов В.П., Лукин А.В., Мельников А.Н. Лазерно-голографический измерительный комплекс ФГУП «НПО «ГИПО» //Прикладная физика. 2002. № 6. С. 99 – 105.

Б22 Оптический формирователь оптических сигналов сложной формы

¹Перепелицын Ю.Н., ²Жаворонков Н.В., ²Давыдов А.А., ⁴Котков А.П.,
³Гришнева Н.Д., ⁴Пылаев Ю.К.

¹Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН, Саратов, Россия

²ЗАО «НИИ Материаловедения», Москва, Зеленоград, Россия

³Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия

⁴НПП «Антарес», Саратов, Россия

Ранее сообщалось о создании ряда спектрально широкополосных полностью оптических устройств обработки оптического сигнала (оптического модулятора,

коммутаторов различной емкости: 1x2, 2x2, 4x4, оптических логических элементов И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, инвертора и др.). В качестве активного элемента в таких устройствах были использованы неоднородные туннельные МДП-структуры различного типа, создаваемые на основе объемных высокоомных монокристаллов p-CdTe, в которых модуляция оптического излучения осуществляется за счет пространственной фотостимулированной перестройки электрического поля [1].

В докладе приводятся результаты цикла работ, связанные с разработкой и экспериментальной реализацией светоуправляемого амплитудно-фазового модулятора, предназначенного для формирования оптических сигналов сложной формы в оптической схеме волоконно-оптического гироскопа с серродинной схемой управления [2].

Функционально, в зависимости от режима работы, активный элемент такого модулятора может быть использован как «оптический аналоговый преобразователь», так и как одноканальный оптический вычислитель. В частности, при переносе оптической модуляции с одного светового потока (управляющего) на другой (управляемый) активный элемент модулятора обеспечивает формирование сигналов сложной формы (гармонического, пилообразного, треугольного и т.д.) на другой оптической несущей с коэффициентом переноса модуляции 1:1. При воздействии на активный элемент двух или нескольких управляющих оптических сигналов сложной формы реализуется одноканальная операция их оптического сложения или вычитания.

Помимо физического механизма и режимов работы в докладе рассматриваются вопросы технологии роста совершенных высокоомных монокристаллов n-CdTe, на базе которых был реализован активный элемент модулятора, а также приводятся результаты технологических работ, связанные с созданием высоковольтных p-n переходов в высокоомном n-CdTe(In) методами химического осаждения из газовой фазы.

Литература

1. Perepelitsyn Yu. N. Optical logic elements for digital computing systems, SPIE Proceedings: Novel Optical Systems Design and Optimization, 1995, Vol. 2537-26, pp. 239-248, Optical Sciences Ctr. / Univ. of Arizona, Tucson, AZ, USA.

2. Прилуцкий В.Е., Пылаев Ю.К., Губанов А.Г и др. Прецизионный волоконно-оптический гироскоп с линейным цифровым выходом. 13 Международная конференция по навигации и управлению, С-Петербург, 2002. с. 137- 141.

Б23 Фотоионизационный преобразователь ИК-света в видимый на основе арсенида галлия и его возможные модификации

Лебедева Н.Н., Агасиев А.А., Саламов Б.Г.

¹Гази Университет, Турция, Анкара

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

e-mail: gassanovl@yahoo.com

Фотоионизационная система в качестве рабочего элемента использует плоскую газоразрядную ячейку, в которой один из электродов - пластина из высокоомного ($\rho > 10^6$ ом.см.) и фоточувствительного полупроводника. Замена металлического электрода на полупроводник позволяет избежать шнурования разряда и получать в узком (десятки микрон) газоразрядном зазоре равномерное по всей площади электрода свечение газа (воздуха). Изменение локального сопротивления полупроводникового электрода за счет фотопроводимости приводит к локальному изменению тока и, следовательно, свечению газового разряда. Получение изображения построено на принципе локальной управляемости тока газового разряда. Изображение формируется в фиолетовом свечении плазмы и затем усиливается электронно-оптическим преобразователем с микроканальным усилением. Выходное изображение с ЭОПа может наблюдаться непосредственно, фиксироваться на фотопленке или с помощью видикона наблюдаться на мониторе.

Спектральный диапазон чувствительности задается чувствительностью применяемого полупроводникового фотоприемника.

Такой ИК-преобразователь мы реализовали на полупроводниковом электроде из полуизолирующего арсенида галлия с примесью хрома ($\rho=10^7-10^8$ ом.см., длинноволновая граница фоточувствительности $\lambda_{\text{г}}=8$ мкм при 300 К). Быстродействие такого преобразователя $2 \cdot 10^{-8}$ с, диапазон изменения яркости 10^3 , разрешение-5 лн/мм.

Возможные модификации, изготовленные и опробованные нами, следующие:

1-устройство для неразрушающего экспресс-контроля высокоомных полупроводниковых пластин большой площади, используемых в электронной технике, по разупорядочению кристаллической микроструктуры; выявлению механических дефектов, неоднородности сопротивления и фоточувствительности.

2-устройство для получения несеребряных фотографических изображений

3-устройство для равномерного плазменного травления поверхности.

4-устройство для получения равномерного по большой площади УФ-излучения.

5-устройство для наблюдения зарождения и развития диссипативных структур в газовой плазме.

Б24 Возможности российских цифровых ПЗС камер серийного производства для астрономических приложений

Комаров В.В.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, п. Нижний Архыз, КЧР, Россия

На крупнейшем в Евразии 6м оптическом телескопе БТА (САО РАН, Россия) ведутся работы по созданию систем ночного видения для астрономических приложений.

В частности, как для видеоподсмотров, входящих в состав основной наблюдательной аппаратуры, так и для вспомогательных систем контроля за состоянием ночного неба. Изображения систем ночного видения оцифровываются и передаются в Интернет. Это позволяет, как операторам, так и удаленным астрономам-наблюдателям контролировать в удаленном режиме состояние и работу основных систем телескопа, наведение, управление и астроклиматические условия. В комплексе визуального контроля БТА используются разработки высокочувствительных ТВ камер на базе малоформатных ПЗС массового производства. Последние варианты подсмотровых ТВ камер для БТА, а также ночных веб-камер выполнены по традиционной для нас схеме – передачи аналогового ТВ сигнала из фокусов в аппаратные, где и осуществляется визуальный контроль на мониторах ВКУ или оцифрованных видеоизображений на компьютерах.

В последнее время российскими производителями ПЗС камер серийного производства осваивается выпуск высокочувствительных ПЗС без ТВ выхода: управляемых от компьютера и передающих изображение непосредственно на ПК. Использование таких камер позволит уйти от аналогового сигнала и получить возможность изменять параметры камер «на ходу» с помощью компьютера даже через Интернет.

В настоящей работе представлены на рассмотрение сравнительные характеристики последних отечественных разработок черно-белых ПЗС камер на базе высокочувствительных ПЗС матриц SONY, используемых в астрономических приложениях. Для получения предельно слабых изображений на телескопах, ПЗС камера должна быть охлаждаемой и иметь возможность длительного накопления на ПЗС матрице. На примере ПЗС камеры SDU-259 (ООО «Спецтелетехника», Москва) показана возможность ее работы в качестве цифрового телеподсмотра гидов больших оптических телескопов. ПЗС камера SDU-259 предназначена для передачи цифровых черно-белых изображений с высокой чувствительностью непосредственно в компьютер по интерфейсу USB-2.0. Управление параметрами камерой также осуществляется по интерфейсу USB.

Камера SDU-259 имеет возможность задавать накопление на ПЗС до 4,5 минут, но выпускается производителем без охлаждения ПЗС.

В CAO РАН создана камера SDU-259C – это SDU-259, оборудованная термоэлектрическим холодильником. Приведены характеристики ПЗС камеры SDU-259C и результаты ее испытаний на 10-дюймовом телескопе «MEADE LXD-55 10in».

Б25 Открытая в Интернет ТВ система визуального контроля крупнейшего российского бм оптического телескопа БТА

Витковский В.В., Власюк В.В., Комаров В.В., Фоменко А.Ф., Шергин В.С.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, п. Нижний Архыз, КЧР, Россия

ФЭПП для астрономических наблюдений на больших оптических телескопах разрабатываются в единичных экземплярах и, поэтому являются уникальными. Для астрономических приложений, например систем наведения, отождествления и слежением за объектом на БТА необходимо иметь до десятка подсмотровых систем, которые должны обладать одноэлектронной чувствительностью. Кроме того, необходимы специализированные автономные видеосистемы ночного мониторинга как положения телескопа БТА, так и мониторинга облачной обстановки в его окрестностях. Данные системы можно создавать на основе выпускаемых в последнее время российскими производителями серийных высокочувствительных камер в видимом и инфракрасном диапазоне на базе ФПЗС массового производства.

В CAO РАН разработана и введена в эксплуатацию открытая в Интернет телевизионная система дистанционного визуального контроля больших оптических телескопов, позволяющая, как оператору, так и астрономам-наблюдателям контролировать в удаленном режиме состояние и работу основных систем телескопа, наведение, управление и астроклиматические условия в реальном времени. Входными устройствами данной системы являются ТВ камеры с твердотельными ФПУ. Оцифровка видеоизображений осуществляется, как централизованно: с помощью видеосервера, так и автономными компьютерами, располагающимися в фокусах телескопа БТА. Полученные и обработанные видеоизображения могут быть доступны с любого рабочего места в компьютерной сети CAO (а также Интернет) всем участникам наблюдательного процесса для научного анализа, что является важным дополнительным научным потенциалом наблюдений, который ранее не использовался. Для основных ночных веб-камер реализованы оперативные архивы с ежечасными изображениями полного формата и анимацией малого формата за последний час.

В данной работе представлены разработанные аппаратура и новые оригинальные алгоритмы и аппаратные интерфейсы для программного управления ТВ подсмотрами, позволившие расширить динамический диапазон астрономических подсмотров в 6 – 8 раз.

Приводятся разработанные программные интерфейсы получения и обработки изображений, позволившие увеличить предельную чувствительность астрономических подсмотров в 2 раза. А также web-интерфейсы, позволяющие получить дистанционный доступ к ТВ системе БТА в реальном времени.

Б26 Разработка ночной системы "ВСЕ НЕБО" для дистанционного мониторинга в реальном времени состояния облачности

Комаров В.В., Фоменко А.Ф., Шергин В.С.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, п. Нижний Архыз, КЧР, Россия

В горах Карачаево-Черкесии на крупнейшем в Евразии бм оптическом телескопе БТА (CAO РАН, Россия) разработана и внедрена в эксплуатацию в круглогодичном режиме web-система ночного видения "ВСЕ НЕБО". Система предназначена для дистанционного компьютерного контроля во время наблюдений на оптических телескопах

САО состояния облачности в реальном времени одновременно по всей небесной полусфере в районе БТА.

Разработана и создана ночная ПЗС камера с полем зрения 180 градусов с автоматической коррекцией ее основных параметров для работы в необслуживаемом режиме.

Разработана версия программы webcam, учитывающая специфику ПЗС камеры. Программа обработки получаемых видеоизображений использует принцип регулирования накопления кадров (по шумовой характеристике снимка) и вычитание темного фона.

Разработана программа bta_sky, в алгоритме которой подобран приблизительный расчет геометрических искажений камеры. Реализован интерфейс с возможностью наложения координатной сетки RA/Dec, конфигурации созвездий и положения основных звезд из каталога FK5. Изображение либо рисуется прямо в JPEG-картинке камеры, либо создается ``прозрачная" PNG-картинка для последующего наложения в web-браузере.

Разработана процедура архивирования и сохранения ежечасных ночных кадров за последний месяц. Информация о состоянии облачности передается непрерывно в течение темного времени суток на домашнюю страницу сервера zserv.sao.ru. Каждый час оцифрованные изображения сохраняются в архив для последующего просмотра с сохранением в течение последних 30 календарных суток.

В данной работе показываются технические проблемы создания подобных систем. Приведены технические характеристики устройств системы, дается описание принципа ее работы. Приводятся первые полученные результаты.

Б27 Объектив с киноформными элементами для спектрального диапазона 3-5 мкм

Редькин С.Н.

ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

Появление широкоформатных охлаждаемых матричных фотоприемных устройств (МФПУ), в частности, для инфракрасного диапазона спектра 3-5мкм обуславливает актуальность исследований в области создания оптических систем объективов, учитывающих конструктивные особенности таких МФПУ.

Как известно, к важной особенности охлаждаемых МФПУ, прежде всего, следует отнести необходимость совмещения выходного зрачка объектива с охлаждаемой диафрагмой МФПУ для минимизации фоновой засветки от элементов конструкции.

В спектральном диапазоне 3-5 мкм по сравнению с диапазоном 8-12 мкм вариация показателя преломления наиболее часто используемых материалов, например, кремния и германия существенно больше. В связи с этим, коррекция хроматических аберраций в диапазоне 3-5мкм более сложна и представляет собой актуальную задачу, особенно для длиннофокусных объективов.

В докладе рассмотрен объектив с коррекцией хроматических аберраций с помощью киноформных элементов. За счет использования турельного механизма, обеспечивающего ввод и вывод из оптического тракта двух линз, в объективе реализованы узкое и широкое поля зрения с коэффициентом трансфокации 3. При коррекции аберраций использовалась центральная длина волны 4 мкм и две боковые длины волны 3.5 мкм и 4.75 мкм с весовым коэффициентом 0.5. Основные характеристики объектива следующие:

- Диаметр входного зрачка в узком поле зрения, мм. 180
- Фокусное расстояние в узком поле зрения, мм. 420
- Узкое поле зрения, угл. град. 1x1.3
- Диаметр входного зрачка в широком поле зрения, мм. 60
- Фокусное расстояние в широком поле зрения, мм. 140
- Широкое поле зрения, угл. град. 3x3.9
- Полихроматическое число Штреля в центре поля зрения, узкое/широкое0,91/0,94
- Полихроматическое число Штреля на краю поля зрения, узкое/широкое0,85/0,86

Величина полихроматического числа Штреля свидетельствует о достаточно приемлемом качестве коррекции аберраций объектива.

Анализ проектных характеристик рассмотренного объектива свидетельствует о целесообразности применения киноформных элементов, особенно в спектральном диапазоне 3-5 мкм.

Б28 Реактивное магнетронное напыление пленок оксидов ванадия для неохлаждаемых болометров

Марченко В.А.

*Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН,
Черноголовка, Россия*

E-mail: marchenk@ipmt-hpm.ac.ru.

Свойства диоксида ванадия VO_2 , такие как фазовый переход полупроводник-металл при $67^{\circ}C$ и высокий температурный коэффициент сопротивления ткс при комнатных температурах, обусловили его использование в ряде приборов и устройств. Одно из микроэлектронных приложений – инфракрасные неохлаждаемые болометрические матрицы - требует разработки технологии напыления тонких пленок с заданным составом и электрическими характеристиками.

В докладе представлены результаты изучения возможностей реактивного магнетронного распыления для осаждения пленок VO_x . Экспериментально исследованы зависимости катодного напряжения и давления кислорода от тока разряда и расхода кислорода при различных скоростях откачки напылительной камеры. Для мишеней V, Nb и Ta выяснены условия реализации стабильного и нестабильного (гистерезисного) режимов распыления. Полученные данные позволили адаптировать современную общую теорию реактивного распыления на случай металлов V-а группы и определить условия распыления V и V-Mo мишеней для осаждения оксидных пленок с регулируемым содержанием кислорода.

Выяснено, что при традиционном режиме распыления со стабилизацией тока разряда электрические характеристики пленок крайне чувствительны к реальному давлению кислорода в камере. Для его контроля разработан датчик кислорода на основе твердого электролита. Дополнительная стабилизация режима распыления по давлению кислорода позволяет в разных сеансах напыления получать пленки с воспроизводимыми характеристиками.

Измерение электрических характеристик пленок VO_x и $(V-Mo)O_x$, осажденных на не нагреваемые подложки показало, что удельное сопротивление ρ и ткс растут с ростом содержания кислорода. При приемлемых для микроболометрических матриц величинах $\rho \leq 1 \Omega \cdot cm$ значения ткс=1.7-2.2%. При равных ткс оптимальное легирование молибденом приводит к снижению удельного сопротивления на порядок.

Б29 Математическая модель нелинейного режима усиления в канале микроканальной пластины

Беркин А.Б., Васильев В.В.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

С увеличением тока на входе микроканальной пластины (МКП) происходит переход к нелинейному режиму усиления. Разработана аналитическая модель усиления тока в канале, позволяющая рассчитать усиление при заданной величине входного тока МКП.

Предлагаемая математическая модель получена путем решения краевой задачи для напряженности электрического поля в канале и включает в себя аналитические

соотношения для распределений поля, потенциала и вторичноэмиссионного конвекционного тока в канале, а также для коэффициента усиления тока. Канал при этом рассматривается как одномерная активная среда с распределенным по координате z усилением. Дифференциальное уравнение, описывающее поле в канале, составлено с использованием методов теории электрических цепей. Поле в канале определяется как сумма стороннего поля E_0 , созданного источником приложенного к МКП постоянного напряжения, и наведенного поля, обусловленного протеканием наведенного тока по окружающему канал резистивно-эмиссионному слою. Поле пространственного заряда, как нами показано, пренебрежимо мало и в модели не учитывается.

Параметрами полученных соотношений являются коэффициент усиления в линейном режиме M_0 , постоянный ток $I_{уст}$ источника напряжения МКП (определяется сопротивлением канала МКП), а также величина входного тока канала I_{ex} . Аналитические выражения для распределения поля в канале и коэффициента усиления имеют вид:

$$E(z) = \frac{E_0 \operatorname{Ln} M_0}{F \left(1 + \frac{I_{ex}}{I_{уст}} e^{\alpha z} \right)} \quad M = M_0 \frac{\operatorname{Ln} M_0}{F \left(1 + \frac{I_{ex}}{I_{уст}} M_0 \right)}$$

где F – аналитическая функция параметров задачи.

Представлены результаты расчетов распределений поля и тока по длине канала и зависимости коэффициента усиления тока от тока на входе МКП вплоть до режимов с сильной нелинейностью.

Б30 Математическое моделирование режима усиления импульсного тока в канале микроканальной пластины

Васильев В.В., Беркин А.Б.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

В электронно-оптических преобразователях с микроканальной пластиной (МКП) для регулировки яркости изображения широко используют импульсную модуляцию тока фотокатода. Яркость регулируется при этом путем изменения длительности импульсов тока, поступающих на пластину.

Предлагается математическая модель, которая позволяет рассчитать форму импульсов тока на выходе канала МКП при заданных параметрах поступящих импульсов тока. В модели учитывается инерционность МКП, связанная только с перезарядкой емкости пластины. Пролетные эффекты в силу малости пролетных времен не учитываются.

Модель основана на решении краевой задачи для напряженности электрического поля в канале и содержит аналитические соотношения для поля и тока в канале, а также коэффициента усиления во временной области. Переходная характеристика канала получена операторным методом. Исходными данными для расчета являются коэффициент усиления тока в канале в непрерывном линейном режиме, сопротивление и емкость, приходящиеся на один канал, и приложенное к МКП постоянное напряжение.

Особенность режима усиления импульсов тока состоит в том, что распределение поля в канале в начале, а также в конце первого и последующих импульсов неодинаково. Поэтому и переходная характеристика в силу разных начальных условий меняется от импульса к импульсу, а установление формы выходных импульсов занимает некоторое время.

Установившаяся форма импульсов зависит как от соотношения между постоянной времени канала и длительностью импульса и паузы, так и от амплитуды входных импульсов. При увеличении амплитуды происходит переход канала в режим нелинейного усиления. При этом форма импульсов выходного тока искажается, а пропорциональность

между его средним значением и амплитудой входных импульсов нарушается. Показано что, динамический диапазон амплитуд, в пределах которого сохраняется линейный режим усиления, а значит и неискаженная передача изображения существенно расширяется при увеличении частоты модуляции.

Представленные аналитические соотношения позволяют расчетным путем подобрать оптимальный режим модуляции.

Б31 Компенсация смыкания «сине-зеленого» и «зелено-красного» барьерных p^+ -слоев и эффективность выделения «зеленой» компоненты в фотоячейке с глубинным цветоделением на потенциальных барьерах

Ванюшин И.В., Гергель В.А., Горшкова Н.М., Зимогляд В.А.,
Лепендин А.В., Тишин Ю.И.

ООО «Юник Ай Сиз», Москва, Россия

e-mail: vanyushin@uniqueics.com

В предложенных нами спектрально чувствительных фотоячейках с глубинным цветоделением [1], где для разделения фототока на цветовые компоненты используется система из потенциальных $p-p^+$ энергетических барьеров, насущной проблемой является взаимное расположение «сине-зеленого» и «зелено-красного» барьерных p^+ -слоев, когда эти слои формируются с помощью имплантационного легирования каждого слоя дозами атомов бора соответствующих энергий. Взаимное расположение этих слоев диктуется не только формой спектральной зависимости коэффициента поглощения излучения в кремнии, но и требованием к кривым спектральных чувствительностей каждого канала, наилучшим образом соответствующих колориметрическим кривым сложения цветов CIE. Как было указано в [2], слишком близкое расположение этих слоев приводит к их смыканию, что в свою очередь, увеличивает вероятность проникновения «зеленых» носителей в «синий» и «красный» диффузионные каналы, что уменьшает селективность и чувствительность «зеленого» канала. В докладе приведены теоретические результаты соответствующей оптимизации расположения цветоделительных барьеров, полученные методами математического моделирования, и экспериментальные результаты по цветоделению, подтверждающие адекватность разработанных принципов оптимизации.

Литература

1. I. V. Vanyushin, V. A. Gergel', V. A. Zimoglyad, Yu. I. Tishin, "Adjusting the Spectral Response of Silicon Photodiodes by Additional Dopant Implantation", Russian Microelectronics, **Vol. 34**, No. 3, pp. 155–159, 2005
2. International Patent Application No PCT/RU2004/000510, Filed: December 17, 2004, Applicant: LLC "Unique IC's".

Б32 Математическое моделирование коррекции неоднородности сканирующих многоэлементных фотоприемных устройств по сигналам сцены

Жегалов С.И., Морозова В.Г., Сагинов Л.Д., Соляков В.Н.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведено математическое моделирование процесса прохождения сигналов сцены через многорядное фотоприемное устройство (ФПУ) со сканированием и обработки сигналов с коррекцией неоднородности без использования опорных источников излучения. Целью моделирования было исследование разработанного метода коррекции и уточнение теоретических оценок точности коррекции. Определены требования по вычислительным ресурсам для практической реализации метода в случае многорядных ФПУ со сканированием изображения.

В основе модели лежит метод коррекции неоднородности многоэлементных ФПУ по сигналам сцены, при котором корректирующие коэффициенты определяются через межэлементные соотношения, выявляемые по сигналам сцены. Исходя из уровня сигналов какого-либо одного элемента ФПУ как базового, по этим соотношениям определяются скорректированные сигналы всех элементов ФПУ.

Разработана математическая модель, в состав которой входят: модель сигналов сцены, модель многорядного ФПУ при работе в сканирующем устройстве и модель обработки. Для исследований используется имитационная модель сигналов сцены. Наряду с имитационным предусматривается сигнальный вход записанных в файлы реальных сигналов ФПУ.

В модели ФПУ при работе в сканирующем устройстве предусмотрено два варианта сканирования. В первом варианте предусмотрено двойное сканирование со сдвигом изображения при последовательных сканах, во втором варианте – со сдвигом на величину шага ФЧЭ. Используется полиномиальная зависимость сигнала ФЧЭ от интенсивности излучения, что позволяет моделировать одно-, двух- и многоточечные варианты коррекции.

Модель обработки определяет корректирующие коэффициенты и производит корректирование. Параметры обработки учитывают изменчивость сцены, варианты модели элементов, топологию линейки и режимы сканера. Рассматривается влияние наличия дефектных элементов и групп дефектных элементов на эффективность коррекции.

Результаты моделирования представлены статистическими оценками и критерием качества коррекции в графической и табличной формах. Критерий качества рассчитывается для имитационного сигнального входа. Для этого скорректированные сигналы элементов сравниваются с интенсивностью потоков сцены и проводится параметрическая минимизация (по двум или более параметрами, если коррекция многоточечная) суммы квадратов отклонений. План типового модельного эксперимента состоит в задании параметров сцены, параметров модели элементов и режима сканера, с последующим подбором параметров обработки, руководствуясь статистическими оценками и критерием коррекции.

Полученные результаты моделирования соответствуют теоретическим оценкам зависимости погрешности метода от сцены. Получены и исследованы зависимости точности коррекции от параметров обработки для различных вариантов сцен, режимов сканера, вариантов модели элементов ФПУ. Оценены требуемые вычислительные ресурсы и объем памяти для реализации метода на сигнальном процессоре.

Б33 Особенности свечения разряда в полупроводниковом газоразрядном преобразователе ИК-изображения

¹Озчелик С., ^{1,2}Мамедов Т.С., ^{1,2}Саламов Б.Г., ¹Курт Х.Ю.

¹Гази Университет, Анкара, Турция

Тел. +903122126030; Факс: +903122122279; sozcelik@gazi.edu.tr

²Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Полупроводниковые газоразрядные преобразователи ИК изображения (ПГПИИ) с фотоприемником из GaAs:Cr нашли широкое применение при регистрации ИК изображений. Прямое преобразование ИК изображения в видимое с помощью плоского ПГПИИ является привлекательным методом для создания ультрабыстрых ИК-систем. Увеличение чувствительности таких систем остается одной из наиболее актуальных и сложных проблем, препятствующих их широкому применению. В данной работе исследовалось свечение разряда (СР) излучаемое в УФ и видимой области (330÷ 440 нм), а также возможности его локального увеличения в ПГПИИ при данной фоточувствительности фотоприемника. Использование газоразрядного зазора с

микрокапиллярной растровой прокладкой (МРП) и ИК света для подсветки фотоприемника приводит к увеличению интенсивности СР. Газоразрядный зазор с МРП действует как усилитель электронного изображения полученного в зазоре. Распределение света многоканальных микроразрядов формирует выходящее изображение, преобразует и усиливает воспроизводимое падающее ИК изображение. В системе с МРП локальная интенсивность СР превышает интенсивность СР в ПГПИИ во столько раз, во сколько раз активная площадь фотоприемника превышает общую активную площадь МРП. Шнурование происходит при формировании пространственного заряда положительных ионов, изменяющегося при переходе от Таундсендовского разряда к тлеющему.

Б34 Разработка и освоение системы производства деионизованной воды для технологических линий микрофотоэлектроники

Проскурин В.М., Фетисов Е.А., Смирнов Н.В., Кошанов С.А.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Обзор современных методов получения сверхчистой воды с анализом преимуществ и недостатков. Оптимизация сочетания методов.

Технологическая схема получения чистой воды должна строиться с учетом требований технологии конкретного типа изделий. Влияние качества исходной воды на выбор схемы очистки воды.

Схема получения деионизованной воды и основное технологическое оборудование при реализации данной задачи. Распределенный характер системы. Обоснование применимости или отказа от рециркуляции (по технологическим линиям и участкам).

Методы анализа и контроля качества сверхчистой воды.

Б35 Предельная чувствительность приемных устройств с CO₂-квантовыми усилителями

Свиридов А.Н.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведены расчеты предельных порогов чувствительности приемных устройств с CO₂ –квантовыми усилителями (ПУ с КУ), предназначенных для лазерных локаторов и активных систем видения. При расчетах учитывались зависимости порогов чувствительности ПУ с КУ от параметров КУ, характеристик используемых в них приемников и методов (электрических или визуальных) регистрации сигналов. Показана возможность и целесообразность построения активной системы видения на основе CO₂-КУ и несканирующего тепловизора.

Активные системы видения, не заменяя тепловидение, позволяют получать дополнительную информацию об объектах, поскольку обеспечивают, как и человеческое зрение, получение изображений объектов только за счет локальных различий в отражательных свойствах. Такие изображения более естественны и легче распознаются, чем тепловые изображения, получаемые за счет собственного излучения объектов, особенно тех, у которых температуры мало отличаются от температуры сцены.

Б36 Фотоприёмник на основе пленочных гетеропереходов CdTe-PbS

Таджибаев М.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

ferpi_info@edu.uz

На основе теллурида кадмия *CdTe* получены гетеропереходы (ГП), эффективно работающие в качестве солнечного элемента [1] и фотоприемника (ФП) в ИК-области

спектра [2]. Имеется сообщение о гетеропереходах и ZnTe-PbS [3] и ZnSe-PbS [4]. ГП между CdTe и узкозонным полупроводником сульфида свинца PbS до настоящего времени мало изучены. В настоящей работе приводятся результаты исследования электрических и фотоэлектрических свойств ГП на основе CdTe-PbS.

ГП получались термическим испарением PbS на пленки CdTe, предварительно осажденные на подложке из молибдена. В зависимости от технологического режима получены изотипные *p*-CdTe-*p*-PbS и анизотипные *p*-CdTe-*n*-PbS ГП.

Рассогласование постоянных решеток, контактирующих полупроводников составляет $\approx 9\%$ и поэтому возможно наличие большой плотности состояния на границе раздела. Однако, как показали исследования [3], в случае сульфида свинца рассогласование постоянных решеток гетеропары играет положительную роль, fotocувствительность неидеального ГП получается больше, чем у идеального, что также подтверждается в данной работе.

Исследованы темновые и световые вольт - амперные характеристики ГП CdTe-PbS в интервале температуры $77\text{K} \geq T \geq 320\text{K}$ и при различных освещенностях. При малом прямом напряжении ВАХ хорошо описываются зависимостью $I = I_s \exp(eU / ckT)$, где $c \approx 2$. Структура освещалась со стороны узкозонного полупроводника PbS. При интенсивности излучения $\approx 70\text{ мВт/см}^2$ от вольфрамовой лампы получен ток короткого замыкания $I_{кз} = 2 \div 3\text{ мА/см}^2$ и напряжение холостого хода $V_{хх} \approx 0,2 \div 0,3\text{ В}$. Такие значения $I_{кз}$ и $V_{хх}$ показывают, что на основе ГП CdTe-PbS можно создать ФП, работающие в ИК-области спектра в вентильном и фотодиодном режиме. На кривых спектральной чувствительности фотонапряжения наблюдается максимум при длине волны $0,85\text{ мкм}$ и более слабый – при $2,3\text{ мкм}$. Монохроматическая чувствительность при $\lambda = 0,85\text{ мкм}$ составляет $\sim 20\text{ мкА/мВт}$. Кроме того, в работе изучались вольтфарадные характеристики ГП и построены зонные схемы контактирующих полупроводников.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы. М: Мир, 1986, 440 с.
- [2]. Шарма Б.Л., Пурухит Р.П. Полупроводниковые гетеропереходы.- М: Сов. радио, 1979, 232 с.
- [3]. Андрухив М.Г., Григорович Г.М. Бочкарева Л.В. и др. Гетеропереходы ZnTe-PbS. ФТП. 1992. Т.26. Вип. 4. С. 761.763.
- [4]. Андрухив М.Г., Бочкарева Л.В., Хляп Г.М. и др. Некоторые свойства гетероперехода ZnSe/PbS. Неорга. матер. 1992. Т.28. №1. С.170-171.
- [5]. Бакуева Л.Г., Винчаков В.Н., Зубкова Т.Н. Неидеальные гетеропереходы на основе сульфида свинца. ФТП, Т. 12. Вып.4, 1978, С.820-822.

Б37 Особенности механизмов переноса заряда В InAs p-n переходах

Сукач А.В., Тетеркин В.В., Олейник Г.С., Савкина Р.К.,
Ворощенко А.Т., Лукьяненко В.И.

Институт физики полупроводников им. В.Е.Лашкарева НАН, Киев, Украина

В работе изучены механизмы переноса заряда в диффузионных InAs p-n переходах, которые при $T = 80\text{ К}$ обладали удельной обнаружительной способностью $\sim 7.6 \cdot 10^{11}\text{ Вт}^{-1}\text{ см Гц}^{1/2}$ и ампер-ваттной fotocувствительностью $\sim 1.2\text{ А Вт}^{-1}$ для длины волны 2.95 мкм .

InAs p-n переходы изготавливались диффузией кадмия в n-InAs при температурах $600\text{--}650\text{ С}$ в течение $0.5\text{--}1.0$ часа. В качестве диффузанта использовалось соединение CdAs₂. Концентрация и подвижность электронов в исходных пластинах n-InAs при комнатной температуре составляли $n = (2\text{--}3) \times 10^{16}\text{ см}^{-3}$ и $\mu = (2\text{--}2.5) \times 10^4\text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$. Плотность дислокаций находилась в пределах $(2\text{--}4) \times 10^4\text{ см}^{-2}$.

Диффузионный профиль распределения кадмия в приповерхностной области перехода измерялся методом ВИМС и удовлетворительно описывался зависимостью $N(x)$

$= N_0 \exp(-x/L)$, где L – характеристическая длина. Наблюдалось несколько участков (до трех) с разным значением L на глубине ≤ 3 мкм. На большей глубине распределение $N(x)$ выходило на насыщение. Поверхностная концентрация кадмия составляла $N_0 = (5-8) \cdot 10^{18}$ см⁻³. Особенности поведения $N(x)$ объясняются присутствием профиля неравновесных вакансий в приповерхностной области.

Измерения высокочастотных ВФХ свидетельствовали о формировании резкого p-n перехода и наличия компенсированной области с концентрацией носителей заряда $(1-3) \cdot 10^{15}$ см⁻³. ВАХ были исследованы в интервале температур 77-290 К. В исследованных диодах коэффициент неидеальности изменялся в пределах 1.1 – 1.2 в интервале температур 197-295 К. При $T < 197$ К на прямых ВАХ наблюдается два экспоненциальных участка. Температурные зависимости тока насыщения I_0 в интервале температур $T = 196 - 290$ К имеют активационный характер с энергией активации $\Delta E \approx 0.38$ эВ, что указывает на преимущественно диффузионный механизм переноса заряда. Отсутствие активационной зависимости I_0 от T^{-1} при более низких температурах, а также увеличение коэффициента неидеальности до значений $\beta > 2$ указывают на реализацию туннельного механизма.

Характерной особенностью обратных ВАХ при температурах $T \geq 200$ К является наличие участка насыщения. При более низких температурах этот участок отсутствует, а ВАХ имеет вид характерный для мягкого пробоя. При больших обратных смещениях ВАХ ведут себя одинаковым образом независимо от температуры измерений.

Для объяснения экспериментальных результатов в настоящей работе использована модель, в которой предполагается следующее: туннельный ток перехода определяется небольшими областями перехода с повышенной концентрацией носителей, локализованных вблизи дислокаций (атмосферами Коттрелла); туннелирование в этих областях происходит с участием глубоких центров, уровни которых расположены вблизи середины запрещенной зоны.

В данной работе моделировалась ситуация, при которой туннельный ток определяется дислокациями, расположенными перпендикулярно плоскости p-n перехода. В результате выполненных расчетов установлено, что концентрация свободных носителей в примесной атмосфере дислокаций более чем на порядок величины превышает концентрацию в компенсированной области. В туннельных переходах принимают участие глубокие центры с концентрацией $N_t = 10^{14} - 10^{15}$ см⁻³. Подтверждение указанной модели переноса заряда получено из исследований ультразвукового воздействия на ВАХ.

Б38 Ионизационные и ядерные потери энергии в α -частицах $A^{IV}B^{VI}$

Салий Я.П., Фрейк И.М.

*Прикарпатский национальный университет, Ивано-Франковск, Украина
ул. Шевченко 57, 76000*

Рассчитано пространственное распределение ионизационных и ядерных потерь энергии быстрыми α -частицами в полупроводниках $A^{IV}B^{VI}$.

Расчет профилей ионизационных потерь и повреждений кристаллической решетки под действием моноэнергетического пучка α -частиц актуально для задач модификации свойств полупроводниковых материалов; разработки, выбора режимов эксплуатации и радиационной стойкости детекторов ионизирующего излучения.

Ионизационные потери заряженных частиц в полупроводнике в значительной мере идут на образование электронно-дырочных пар. Знание величины концентрации генерирующих неравновесных носителей тока необходимо при использовании полупроводников для детекторов излучения [1, 2]. Также ионизационными потерями в основном определяется длина пробега заряженной частицы. Часто такие данные, особенно для соединений, либо отсутствуют, либо их теоретическая оценка оказывается достаточно

грубой, либо для расчета нужные сложные программы, которые используют метод Монте-Карло.

В работе за табличными данными и эмпирическими формулами рассчитано пробеги, ионизационные и ядерные потери α -частиц в $A^{IV}B^{VI}$.

Рассчитаны с использованием формулы энергии α -частиц и ионизационные потери вдоль пробега для начальной энергии частиц 5,5 МеВ. Очевидно, что максимальные потери приходятся на конец пробега и в ~ 2 раза превышают потери в начале.

Представленные ядерные потери в подрешетках металла и халькогена для PbSe, PbTe и SnTe. Очевидно, что максимумы потерь на порядок превышают потери вдоль всей траектории и что потери на более тяжелых элементах соединения находится ближе к поверхности образца.

Таким образом, ионизационные потери α -частиц в $A^{IV}B^{VI}$ описаны с использованием зависимости, представленной в [5], с подобранными нами параметрами. также рассчитаны ядерные потери. Ядерные потери, которые отвечают за дефектообразование, на три порядка меньше ионизационных.

В области энергий, когда скорости ионов соразмерны со скоростями атомных электронов, теоретическое рассмотрение ионизационных потерь отсутствует. В этой области скоростей ненужные потери энергии имеют максимум. При проведении расчетов переноса ионов промежуточной энергии в веществе чаще всего используется сшивание значений полученных за формулой Линхарда-Шарфа [3] для низких энергий и формулой Бете-Блоха [4] для высоких.

1. Никеров В.А. Применение частиц и излучений высоких энергий. - М.: Высшая школа, 1988.- 152с.

2. Лабораторный практикум по экспериментальным методам ядерной физики. Под ред. К.Г. Финогенова. - М.: Энергоатомиздат, 1986.- 432с.

3. Лизунов Ю.Д., Рязанов А.К. Исследование торможения заряженных частиц и образование точечных дефектов. - М.: Препринт. Институт атомной энергии, 1988.- 36 с.

4. Ахиезер И.А., Давыдов Л.Н. Введение в теоретическую радиационную физику металлов и сплавов. - Киев: Научная мысль, 1975.- 250с.

5. Пучеров Н.Н., Чеснокова Т.Д. Тормозная способность металлов для заряженных частиц малых энергий// Вопросы атомной науки и техники. - 1979. - №1, вып. 9. - С.10-12.

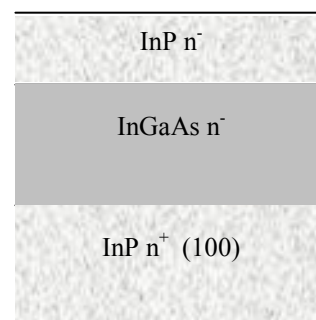
Б39 Комплексное исследование параметров гетероэпитаксиальных структур

Томилина Г.Ю., Ляликов А.В., Каган Н.Б., Огнева О.В.,
Чинарева И.В., Якунин С.Н.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В настоящей работе представлены результаты исследований образцов эпитаксиальной структуры InP/InGaAs/InP, предназначенной для работы в качестве фоточувствительного элемента в ближней ИК-области 1.6-1.7 мкм.

Для исследования структурных, композиционных и геометрических параметров системы было использовано сочетание методов растровой электронной микроскопии и микроанализа, двухкристальной рентгеновской дифрактометрии, ИК рефлектометрии и спектрометрии комбинационного рассеяния.



Толщины слоев устанавливались методами растровой электронной микроскопии по сколу в режиме z-контраста и методом ИК рефлектометрии в диапазоне длин волн 2-10 мкм с восстановлением искомым параметров итерационным методом. По оптическим границам толщина слоя InP составляет 2 мкм, InGaAs – 2.85 мкм; по металлургическим границам: InP–2.3 мкм, InGaAs – 2.775 мкм.

Состав слоев контролировался методом рентгеноспектрального микроанализа и методом двухкristальной рентгеновской дифрактометрии по относительному положению пиков на кривой дифракционного отражения. Оба метода показали незначительное отклонение стехиометрии слоя InGaAs от заданного в технологии роста.

Структурное совершенство эпитаксиальных слоев оценивалось по уширению дифракционных пиков в симметричном отражении. Наличие тетрагональных искажений кристаллической решетки слоя InGaAs было зафиксировано по ассиметричному отражению. Кроме того, наличие слабовыраженного дополнительного пика в ассиметричном отражении позволяет предположить существование переходного слоя InGaPAs на одной из гетерограниц. Наличие напряженного слоя и присутствие дефектов в эпитаксиальной структуре подтверждено данными спектроскопии комбинационного рассеяния.

Результаты, полученные методом интегральной катодолуминесценции, хорошо коррелируют с данными дифракционных исследований. На изображении скола структуры в сигнале интегральной катодолуминесценции интенсивность люминесценции от подложки InP на порядок выше, чем от верхнего эпитаксиального слоя. Это может быть объяснено присутствием дефектов структуры, которые работают как центры безызлучательной рекомбинации. Оценка плотности центров безызлучательной рекомбинации, и в частности дислокаций, может быть выполнена по катодолуминесцентным изображениям поверхности, где они проявляются как темные пятна.

Б40 Изучение аналитическими методами аномалий состава и структуры поверхности напыленного индия после плазменного травления

Евсеева О.Н., Мезин Ю.С., Седнев М.В.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Процесс напыления индия на различные подложки с последующей его обработкой (как правило, травлением) широко используется при создании многих полупроводниковых приборов и, в частности, матричных фотоприемных устройств на основе кадмий-ртуть-теллур. Состояние поверхности индиевых слоев заметно влияет на последующие технологические операции. В связи с этим были проведены исследования методами ЭСХА и Оже-спектроскопии состава поверхностных слоев напыленного индия до и после плазмохимического травления, а также структуры слоев методом электронной растровой микроскопии. Выявлено значительное содержание в поверхностном слое соединения индия и углерода (предположительно, карбонила индия).

Б41 Получение сульфоселенидов цинка ZnS_xSe_{1-x} CVD-методом

Савин Д.В., Гаврищук Е.М., Иконников В.Б.

Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия

Твердые растворы халькогенидов цинка ZnS_xSe_{1-x} являются широкозонными полупроводниками, применяемыми в качестве материалов для оптоэлектроники, разнообразных фотоэлектрических и оптических устройств. Существует интерес к их

применению в качестве рабочих сред твердотельных лазеров и в градиентной оптике. Наиболее перспективным для получения халькогенидов цинка с одновременно высокими пропусканием во всем диапазоне прозрачности и механическими свойствами является метод химического осаждения из газовой фазы (CVD). Однако получить однородные по составу образцы ZnS_xSe_{1-x} в CVD-реакторах, используемых для получения сульфида и селенида цинка, не удается. В связи с этим задача получения сульфоселенидов цинка заданного постоянного состава CVD-методом представляется весьма актуальной.

Нами разработана CVD - методика получения массивных однородных по составу поликристаллических сульфоселенидов цинка с использованием в качестве исходных реагентов паров цинка и смеси гидридов серы и селена. Методами рентгеноспектрального микроанализа и рентгеновской дифракции определена аксиальная (по толщине) вариация макросоставов ZnS_xSe_{1-x} ($0.1 < x < 0.6$), которая не превышала 1 мол.%. Исследована зависимость оптических свойств (диапазона и величины пропускания) и микроструктуры (среднего размера зерна) ZnS_xSe_{1-x} от их состава. Определенный методом оптической микроскопии средний размер зерен сульфоселенидов цинка составляет 3-10 мкм и слабо зависит от их состава.

Исследовано влияние условий высокотемпературной газостатической (HIP) обработки ZnS_xSe_{1-x} при высоких значениях температуры (до $1200^{\circ}C$) и давления (до 200 МПа) на их оптические и структурные характеристики. Установлено, что после HIP обработки величина пропускания сульфоселенидов цинка увеличивается и приближается к теоретической, а диапазон пропускания расширяется в коротковолновую область. Выявлены изменения физико-механических свойств ZnS_xSe_{1-x} , связанные с уменьшением концентрации дефектов кристаллической упаковки, образующихся на стадии синтеза. Рассмотрено влияние температуры и макросостава на процессы рекристаллизации, происходящие в ZnS_xSe_{1-x} при газостатической обработке.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №05-08-18085).

Б42 Тепловой приемник ИК-излучения на сегнетомагнитных и сверхпроводящих кристаллах

Загулин В. В., Креопалов Д. В. М. А. Савченко

Показана возможность создания быстродействующего ИК-приемника с высокой обнаружительной способностью на сегнетомагнитных и сверхпроводящих кристаллах. Приемник имеет большую на два порядка длинноволновую границу спектра (например, при чернении приемной поверхности платиновой чернью), что повышает дальность действия ИК техники. Для создания подобного приемника необходимы кристаллы типа пировскита, у которых магнитное поле вызывает электрическую поляризацию, при этом удельное сопротивление $\rho \ll 5 \cdot 10^{11}$ [Ом • м]. Сверхпроводник (YBaCuO) в магнитном поле также имеет электрическую поляризацию.

Б43 Многослойные структуры PbSnTe/BaF₂/CaF₂/Si(100) полученные методом МЛЭ

Величко А.А., Илюшин В.А., Филимонова Н.И., Остертак Д.И.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Для создания фотоприемных устройств (ФПУ) ИК-диапазона широко используются материалы $A^{IV}B^{VI}$, в частности PbSnTe. Перспективным является применение структур PbSnTe/BaF₂/CaF₂/Si, которые могут быть получены методом молекулярно-лучевой эпитаксии в замкнутом технологическом цикле. В таких структурах слой CaF₂ согласован по параметру кристаллической решетки с кремнием, а слой BaF₂ - по параметру кристаллической решетки и КТР с PbSnTe. Известно, что предпочтительным направлением роста PbSnTe является направление (100), однако в большинстве работ

пленки PbSnTe с высоким кристаллическим совершенством получены на подложках BaF₂(111) или на структурах BaF₂/CaF₂/Si с кристаллографической ориентацией (111). Это объясняется особенностями релаксации напряжений в материалах A^{IV}B^{VI}, для которых главными плоскостями скольжения дислокаций являются плоскости {100} с низкими критическими напряжениями сдвига. Самостоятельной проблемой является получение атомарно-гладких пленок BaF₂/CaF₂ на (100) поверхности Si. Несмотря на отмеченные проблемы, имеется значительный интерес к структурам PbSnTe/BaF₂/CaF₂/Si, выращенным на подложках с ориентацией (100), обеспечивающих значительные технологические преимущества при производстве приборов.

Гетероструктуры Pb_{0,7}Sn_{0,3}Te/BaF₂/CaF₂/Si(100) выращивались в замкнутом технологическом цикле в двухмодульной установке молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) «Ангара». Первый модуль был оборудован электронно-лучевым испарителем Si и молекулярными источниками CaF₂ и BaF₂, второй – молекулярными источниками PbSnTe и Te. Выращивание пленок Pb_{0,7}Sn_{0,3}Te осуществлялось путем сублимации шихтового материала нужного состава. Дополнительный источник теллура использовался для компенсации потерь теллура, вызванных обеднением молекулярного источника PbSnTe или высокими температурами подложки во время роста. Слои CaF₂ и BaF₂ толщиной по ~0,5 мкм каждый выращивались последовательно при температурах молекулярных источников, соответствующих скоростям роста ~0,5 мкм/час и температуре подложки ~600 °С, после чего пластина перемещалась манипулятором во второй модуль для эпитаксии пленки PbSnTe. Рост производился при температурах в диапазоне ~350-400 °С при величине молекулярного потока PbSnTe, соответствующей скорости роста ~1 мкм/час в низкотемпературном диапазоне. Морфология поверхности выращенных слоев исследовалась в атомно-силовом микроскопе Solver P47H производства NT-MDT. Электрофизические параметры определялись из измерений эффекта Холла.

Исследования кристаллической структуры образцов методами дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭ) и высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии (ВРЭМ) показали, что пленки PbSnTe являются монокристаллическими, но содержат структурные дефекты: антифазные границы и отдельные блоки.

Несмотря на это, даже тонкие пленки PbSnTe толщиной около 1 мкм обладают достаточно приемлемыми электрофизическими параметрами: концентрацией носителей заряда $p = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью 400 см²/В·с.

Не очень высокие значения подвижности объясняются на наш взгляд наличием переходного слоя вблизи границы раздела PbSnTe – BaF₂ и высоким сопротивлением контактов, которые не являлись омическими. При увеличении толщины PbSnTe электрофизические параметры слоев должны улучшаться, поскольку при этом происходит сглаживание поверхности пленки.

Б44 Электрические свойства структур металл-полупроводник на основе Pb_{1-x}Mn_xTe

Алиева Т.Д., Абдинова Г.Дж, Ахундова Н.М., Бархалов Б.Ш.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Твердые растворы на основе Pb_{1-x}Mn_xTe являются перспективными материалами для инфракрасной техники. Поэтому создание структур на основе этого материала с надежными, механически прочными и низкоомными контактами является актуальным вопросом.

В данной работе исследованы электрические и физико-химические свойства структур Pb_{1-x}Mn_xTe – металлический сплав (мас.%95 In+4Ag+1Au) в интервале 77-300К. Образцы Pb_{1-x}Mn_xTe (0≤x≤0,04) для создания структур были получены методом экструзии из синтезированного в определенном режиме состава. Контакты создавались методом залуживания, электрические параметры измерялись зондовым методом на

переменном токе, а адгезионная прочность методом отрыва. Структуры были изготовлены из образцов, не прошедших термообработку после экструзии и из образцов, прошедших термообработку в атмосфере аргона при $\sim 420^{\circ}\text{C}$ в течение 120 часов. Также исследовано влияние отжига при $\sim 110^{\circ}\text{C}$ на электрические и адгезионные свойства указанных структур.

Выяснено, что в структурах на основе неоттоженных составов контактное сопротивление r_k при 77К имеет значения от $7,5 \cdot 10^{-4}$ Ом.см² для PbTe до $5,84$ Ом.см² для состава с $x=0,04$; отжиг составов приводит к уменьшению r_k до $5,46 \cdot 10^{-4}$ и $2,1$ Ом.см² соответственно. Отжиг структур при $\sim 110^{\circ}\text{C}$ в течение 500 часов существенно уменьшает их контактное сопротивление. Во всех случаях наблюдается корреляция между r_k и удельным сопротивлением ρ составов. Адгезионная прочность контактов находится в пределах $5,5-10,5$ кГ/см².

Полученные результаты объяснены влиянием концентрации марганца и отжига на концентрацию и подвижность основных носителей тока в $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, диффузией атомов In и Ag из контактного сплава в приконтактную область и в объем кристаллов, а также образованием промежуточных фаз типа Ag_2Te на границе раздела структуры.

Б45 Внутренний геттер в ходе отжигов процесса изготовления ПЗС

Костюков Е.В., Поспелова М.А., Т.Ф. Русак, Никитина Г.И.

ФГУП НПП "Пульсар", Москва, Россия

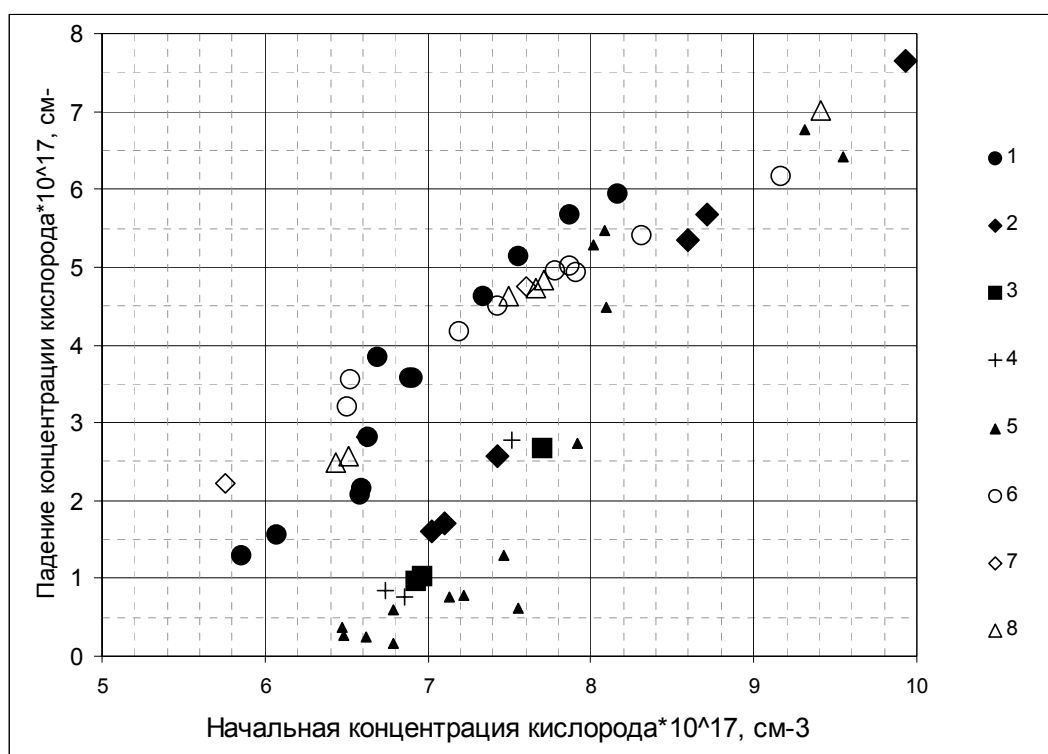
Проведена серия экспериментов, направленная на выяснение качества внутреннего геттера, образующегося в ходе предварительных обработок пластин и первых отжигов процесса изготовления приборов с зарядовой связью. Пластины, на которых был предварительно проведен трехстадийный цикл создания внутреннего геттера или только высокотемпературный отжиг, а также пластины без геттера, подставлялись, как спутники, на первые отжиги процесса изготовления ПЗС, которые отличались для пластин *p*- и *n*-типа:

| | Цикл отжигов <i>p</i> -типа | | | Цикл отжигов <i>n</i> -типа | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-----|----------|-----------------------------|------|-----|---------|
| Температура, $^{\circ}\text{C}$ | 920 | 850 | 950 | 920 | 1000 | 850 | 1150 |
| Время, мин | 140 | 40 | 12 часов | 140 | 50 | 40 | 23 часа |

Внутренний геттер мы характеризовали степенью преципитации, которая определялась, как убыль содержания кислорода. Ранее нами было выяснено, что эффективный геттер получается, если убыль кислорода, больше, чем $2,5 \cdot 10^{17}$ см⁻³. Такой геттер позволил нам изготовить ЛФПЗС с неравномерностью темнового сигнала меньше 0,2% (время накопления 1 мс). Зависимость от начальной концентрации кислорода общего падения концентрации кислорода после проведения первых отжигов обоих типов в пластинах, предварительно прошедших полный цикл создания внутреннего геттера, а также во всех пластинах, прошедших отжиги *n*-типа близка к прямой линии, а не S-образной кривой, характерной для процесса создания внутреннего геттера. Значения $2,5 \cdot 10^{17}$ см⁻³ убыль кислорода достигает уже при содержании кислорода $6,5 \cdot 10^{17}$ см⁻³. Если же пластины прошли только высокотемпературный отжиг и отжиг *p*-типа, то данные ложатся на прямую, расположенную ниже. Степень преципитации в пластинах с содержанием кислорода $(6,7 - 8) \cdot 10^{17}$ см⁻³ в этом случае значительно меньше, причем не зависит от времени первого отжига (5 минут или 6 часов). Значение $2,5 \cdot 10^{17}$ см⁻³ достигается только при содержании кислорода $7,4 \cdot 10^{17}$ см⁻³.

Оптическое наблюдение фигур травления на сколах пластин показывает наличие качественного геттера после проведения первых отжигов изготовления ПЗС во всех пластинах с предварительно созданным внутренним геттером. Если предварительно был проведен только высокотемпературный отжиг, то в пластинах с начальной концентрации кислорода, меньше чем $7 \cdot 10^{17}$ см⁻³, плотность геттера значительно ниже.

Уменьшение содержания кислорода понижает скорость преципитации, и соответственно для достижения нужной степени преципитации требуется проводить большее количество отжигов.



1 - 5 — цикл отжигов *p*-типа 6 - 8 — цикл отжигов *n*-типа
 предварительная обработка: 1 и 6 — полный цикл создания внутреннего геттера;
 5 и 8 — предварительных обработок не было; только высокотемпературный
 отжиг: 2 и 7 — 6 часов; 3 — 2 часа; 4 — 5 минут

Б46 Влияние условий выращивания на структурное совершенство и морфологию буферных слоев на подложках (013)GaAs
 Дворецкий С.А., Икусов Д.Г., Каргашев В.А., Колесников А.В., Михайлов Н.Н., Сабина И.В., Сидоров Ю.Г., Труханов Е.В.
 Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия
 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13, E-mail: dvor@isp.nsc.ru

Структурное совершенство, морфология поверхности, плотность ростовых дефектов эпитаксиальных пленок твердых растворов Cd_xHg_{1-x}Te существенным образом определяется качеством подложек.

Проведено детальное изучение влияния условий роста (температура подложки и соотношение потоков) на структурное совершенство, морфологию поверхности и плотность поверхностных макродефектов для получения высококачественных “альтернативных” подложек для последующего роста эпитаксиальных слоев теллурида кадмия и ртути.

Выращивание эпитаксиальных пленок CdTe на подложках ZnTe/GaAs проводилось на установке молекулярно-лучевой эпитаксии “Обь-М”. Температура подложки T_{под} и соотношение потоков K = J_{Cd}/J_{Te} варьировались в пределах 260÷315⁰C и 0,5÷28 соответственно.

Определены оптимальные условия выращивания пленок CdTe с высоким структурным совершенством, минимальной шероховатостью поверхности и минимальной плотностью прорастающих дефектов. В интервале значений j_{Cd}/j_{Te}= 4÷7 при T_п = 280⁰C÷290⁰C полуширина рентгеновской кривой составила 160 угл. сек.,

шероховатость 2 нм и плотность прорастающих дефектов $\leq 200 \text{ см}^{-2}$. При $j_{\text{Cd}}/j_{\text{Te}} < 1,5$ в температурном интервале $T_n = 260 - 315 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается резкое ухудшение шероховатости поверхности, структурного совершенства и увеличение плотности прорастающих дефектов слоёв CdTe. При соотношениях потоков $j_{\text{Cd}}/j_{\text{Te}} = 7 - 28$ наблюдается незначительное ухудшение шероховатости, структурного совершенства и увеличение плотности прорастающих дефектов.

Проведенные исследования позволили оптимизировать технологические условия выращивания буферных слоев, что позволило понизить плотность прорастающих дефектов в эпитаксиальных структурах ГЭС КРТ МЛЭ до величины менее 500 см^{-2} .

Б47 Создание и использование тонких сегнетоэлектрических пленок для приемников ИК-изображения

¹Романюк В.Л., ¹Гременок В.Ф., ²Залесский В.Б., ²Ермаков О.В.,
³Чигирь Г.Г., ³Белоус А.И.

¹*Объединенный институт физики твердого тела и полупроводников Национальной Академии Наук, Минск, Беларусь*

²*Институт электроники Национальной Академии Наук, Минск, Беларусь*

³*НТЦ «БЕЛМИКРОСИСТЕМЫ», НПО «Интеграл», Минск*

Важным направлением при разработке материалов для приемников ИК-изображения является создание неохлаждаемых микроболометрических и сегнетоэлектрических матриц. В качестве материалов для пироэлектрических приемников излучения используются цирконаты свинца, ниобаты и титанаты бария-стронция, сополимеры винилефторида. В качестве материалов для микроболометров используются модификации окислов ванадия V_xO_y , поликристаллический и аморфный кремний. Технология производства микроболометрических и сегнетоэлектрических матриц базируется на стандартных технологических процессах производства кремниевых интегральных схем, что служит мощным стимулом ее развития. Поскольку при построении тепловизионных систем на основе МБМ не требуются сканирующие устройства и криогенные системы охлаждения, их стоимость, масса и габариты существенно меньше по сравнению с аналогичными параметрами традиционных приборов. Одновременно увеличивается надежность и срок службы ТВП, а также упрощается их ремонт и техническое обслуживание. При использовании светосильной оптики температурная чувствительность микроболометрической матрицы составляет величину менее $0,1 \text{ К}$.

В лаборатории полупроводников ИФТТП НАНБ были получены тонкие сегнетоэлектрические пленки $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ методом импульсного лазерного напыления. Пленки напылялись и охлаждались после напыления в условиях, позволяющих добиться наилучшего качества поверхности и сохранения стехиометрии. Кристаллическая структура материала исследовалась при помощи рентгеноструктурного анализа, который показал, что пленка является кубической перовскитной структурой. На изображении поверхности пленки, полученной с помощью сканирующего электронного микроскопа видна гладкая поверхность, однако кое-где встречаются кольца и капли различных размеров. Эти дефекты обусловлены тем, что в процессе напыления от мишени отрываюются жидкие и твердые обломки вещества, которые, попадая на поверхность, создают неровности. В нашем эксперименте мы боролись с этим явлением с помощью уменьшения мощности лазерного луча и его расфокусировки.

Б48 Стимулированное и спонтанное излучение из пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$ на $GaAs$ и Si подложках при оптической накачке

¹Андронов А.А., ¹Ноздрин Ю.Н., ¹Окомельков А.В., ²Варавин В.С.,
²Смирнов Р.Н., ²Икусов Д.Г.

¹ Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

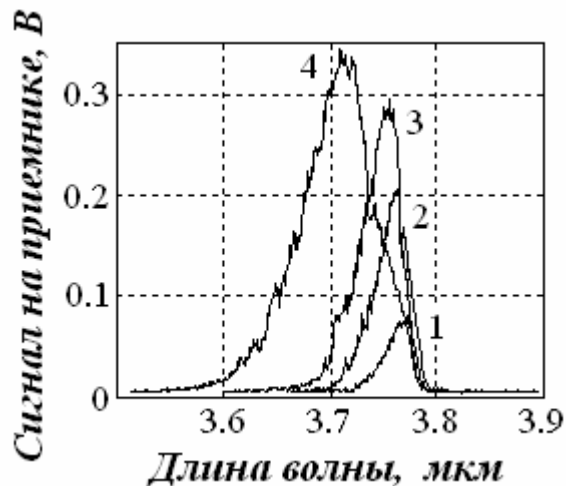
² Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В настоящем докладе сообщается о наблюдении стимулированного и спонтанного излучения в диапазоне длин волн 3 – 5 мкм из пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$, которые традиционно используются для создания приемников инфракрасного излучения. В отличие от обычных $Cd_xHg_{1-x}Te$ структур, некоторые из исследованных нами пленок были выращены на кремниевых подложках. Мы исследовали образцы $Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенные на $GaAs$ и Si подложках с помощью молекулярно-пучковой эпитаксии в Институте физики полупроводников.

В настоящей работе мы наблюдали суперлюминесценцию из этих пленок при температурах 77 – 130 К, при оптической накачке импульсным Nd: YAG лазером (излучающим на длине волны 1.064 мкм; с длительностью импульсов около 80 ns). Обсуждаются детали образцов, экспериментальной установки и полученных спектров излучения. Электромагнитные волны в этих образцах испытывают волноводное распространение, так как диэлектрическая константа буферного слоя ($CdTe$) меньше диэлектрической проницаемости $Cd_xHg_{1-x}Te$ слоев. Коэффициент усиления оказывается довольно большим, что приводит к большой величине излучаемого сигнала с торцов пленок.

Мы полагаем, что нам удалось наблюдать наиболее длинноволновую суперлюминесценцию из толстых пленок узкощелевых полупроводников при 77 К. Спектры стимулированного излучения для различных интенсивностей накачки $I_1 < I_2 < I_3 < I_4$ при температуре $T = 77$ К представлены на Рисунке для образца KPT 050428, выращенного на Si подложке. При изменении интенсивности накачки возникает смещение спектральной линии. Эти данные объясняются следующим образом. При больших интенсивностях фотовозбуждения возникает большее количество неравновесных носителей и потому – более широкий интервал энергий, для которых имеет место инверсия населенностей. Длинноволновая граница этих спектральных линий одинаковая, и определяется шириной запрещенной зоны.

Этот эффект может быть использован при создании перестраиваемых лазеров. $Cd_xHg_{1-x}Te$ является узкощелевым полупроводником с разрешенными излучательными межзонными переходами. Это приводит в нашем случае к большим величинам коэффициента усиления, спонтанного и стимулированного излучения. Вот почему этот материал может быть интересен для создания не только фотоприемников, но и источников инфракрасного излучения, таких как светодиоды и лазеры инфракрасного излучения.



Б49 Исследование возможности создания конструкции пленочных АФН – термо с общей подложкой

Абдуллаев Э.Т., Касымахунова А.М., Мамадалиева Л.К.,
Насретдинова Ф.Н., ¹Олимов Ш.А.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

¹*Ферганский промышленно-строительный колледж, Фергана, Узбекистан*

E-mail: kasimahunova@rambler.ru, abdullaev85@list.ru

Отсутствие отрицательного влияния конструктивной комбинации фотоплёнок, работающих на основе явления аномальных фотонапряжений (АФН) с термообразователями (ТЭП) на выходные оптико-энергетические параметры их, позволяет выявить шансы решения проблем весогабаритных характеристик.

Общеизвестно [1], что качественные плёнки аномальных фотонапряжений получают путем термического испарения в вакууме. Аналогичный метод применим для получения пленочных термоэлектрических батарей [2]. В этих же работах даются сведения о материалах подложки, для обоих видов преобразователей, и в качестве основного материала подложки, не только рекомендован, но и экспериментально проверен кварц с температурой плавления 1580⁰С.

Для расчёта брались параметры плёнок CdTe, обладающие АФН с целью изучения фотопроводимости. Образцы были получены косонапыленным способом [1] и потенциальные барьеры у них, как и в других неоднородных полупроводниках, могут служить дрейфовыми или рекомбинационными барьерами для неравновесных носителей. При наличии дрейфовых $E_{др}$ или $E_{рек}$ барьеров изменения проводимости можно написать следующим образом:

$$\delta_{\phi} = e\alpha\beta L \left\{ \tau^{n_0} \mu^{n_0} \exp \left[\frac{E_{рек}^n(L) - E_{др}^n(L)}{KT} \right] \cdot \frac{S^n}{l^n} + \tau^{p_0} \mu^{p_0} \exp \left[\frac{E_{рек}^p(L) - E_{др}^p(L)}{KT} \right] \frac{S^p}{l^p} \right\} \quad (1)$$

Где e -заряд электрона, α -коэффициент поглощения, β -квантовая эффективность, L -интенсивность света, $\tau^{p_0, n, p}, \mu_0$ - соответственно время жизни и подвижность носителей заряда в однородном полупроводнике соответственно с p и n - типом проводимости .

По результатам расчёта проанализирован АФН эффект в примесной области для нелегированных и легированных плёнок. Установлено его определяемость глубокими уровнями и энергиями активации $\approx 0,17 \pm 0,03$ эВ.

Термоэлектрические свойства плёночных термоэлементов исследовались на образцах $(\text{BeSb})_2(\text{TeSe})_3$. Такой выбор объясняется тем, что у них при температурах, близких к комнатной, параметр $z = \frac{\alpha^2 \gamma}{\mu}$ (α -коэффициент термо э.д.с., γ - удельная электропроводность, μ –теплопроводность) имеют наивысшие значения. Результатом исследования были температурные зависимости электрофизических параметров, коэффициент теплового расширения и к.п.д. конструкции.

Литература:

[1] Н.Р.Рахимов, А.Н.Серьезном. АФН – пленки и их применение, Новосибирск, СибНИА, 2005г, - 64 стр.

[2] Б.М.Гольцман, З.М.Дашевский, В.И.Кайданов, Н.В.Коломоец.-М: Наука, 1985г. 232стр.

Б50 О степени повышения эффективности межзонного фотовозбуждения электродвижущей силы Дембера за счет увеличения концентрации центров рекомбинации при слабом оптическом излучении

Холоднов В.А., Другова А.А.

Институт радиотехники и электроники РАН, Москва, Россия

**E-mail: Khol.Orion@g23.relcom.ru*

В развитие публикаций [1,2] рассмотрена задача о межзонном фотовозбуждении слабым оптическим излучением электродвижущей силы (ЭДС) Дембера V_{ph} в однородном полупроводниковом образце с рекомбинацией через примесь, образующую один уровень. Решение проведено вне обычно используемого в задачах такого рода квазинейтрального приближения [3-6]. Принято, что рекомбинационный центр является акцептором. Отклонения концентраций электронов и дырок и степени заполнения рекомбинационного уровня от соответствующих равновесных значений считаются малыми. Такая ситуация часто реализуется в полупроводниках, когда они применяются для измерения слабого оптического излучения. Проведен теоретический анализ зависимостей фото-ЭДС Дембера от концентрации рекомбинационных центров N и толщины образца W вдоль направления светового потока.

Основные результаты. 1. За счет увеличения концентрации рекомбинационных центров значение фото-ЭДС Дембера V_{ph} можно увеличить на несколько порядков. Это увеличение обусловлено не только сильно немонотонной зависимостью темнового сопротивления образца [3-6], но и сильно немонотонной зависимостью времен жизни электронов и дырок от N [7,8]. 2. В точке $N = N^*$, в которой функция $V_{ph}(N)$ достигает максимального значения, и в окрестности N^* квазинейтральное приближение, как правило, неприемлемо для "тонких" ($W < 0,1$ см) образцов. Квазинейтральное решение может отличаться от неквазинейтрального на несколько порядков. 3. Даже при $W \rightarrow \infty$ не всегда можно пренебрегать фотоиндуцированным объемным зарядом, т. е., решать задачу в квазинейтральном приближении.

Приведено физическое обоснование полученных результатов.

Литература

- [1] V.A. Kholodnov, A.A. Drugova, Proceedings of SPIE, v.4340, p. 186-212, 2000.
- [2] V.A. Kholodnov, A.A. Drugova, Proceedings of SPIE v. 5126, p. 367-380, 2003.
- [3] И.Аут, Д.Генцов, К.Герман, "Фотоэлектрические явления", М.: Мир, 1980.
- [4] Р. Смит // "Полупроводники", М.: Мир, 1982.
- [5] В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников // "Физика полупроводников", М.: Наука, 1990.
- [6] A. Rogalski et al. // "Infrared Photon Detectors", Bellingham-Washington USA: SPIE Opt. Engin. Press, 1995.
- [7] A.A. Drugova, V.A. Kholodnov, Solid-St. Electron., v. 38, № 6, p.1247-1252, 1995.
- [8] В.А. Холоднов. ФТП, т. 30, № 6, с. 1011-1025, 1996.

Б51 Зависимость фотоэлектрических свойств пленок PbSe:Bi от уровня легирования амфотерной примесью висмута

Гаврикова Т.А., Зыков В.А., Ильин В.И.

*С.-Петербургский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия*

Приводятся результаты комплексного исследования электрических и фотоэлектрических свойств пленок PbSe:Bi с различным содержанием Bi ($N_{Bi}=0,025-0,3$ ат.%). Изучены температурные зависимости (77-300К) электропроводности $\sigma(T)$, концентрации носителей тока $p(T)$, сигнала $U_c(T)$ и времени фотоответа. Поликристаллические пленки селенида свинца легированные висмутом были

приготовлены вакуумным напылением по методике, описанной в [1]. Электронный тип проводимости в кристаллитах обеспечивался размещением амфотерной примеси Вi в катионной подрешетке. Для формирования фоточувствительности пленки подвергались активирующему отжигу на воздухе. После активирующего отжига пленки обладали проводимостью р-типа. Показано, что дырочный тип проводимости является результатом взаимодействия кислорода с поверхностью отдельных кристаллитов и внешней поверхностью пленки. В результате формируются приповерхностные инверсионные каналы проводимостью р-типа по которым преимущественно осуществляется протекание тока.

Зависимости $\sigma(T)$ для всех образцов представляют кривые, демонстрирующие активационный характер протекания тока. На каждой кривой имеется два участка: высокотемпературный с энергиями активации проводимости $\Delta E_{\sigma} \sim 50-80$ мэВ и низкотемпературный с $\Delta E_{\sigma} \sim 20$ мэВ. Температуры смены механизма проводимости находятся в диапазоне 125÷180К и зависят от содержания висмута в пленке: с ростом N_{Bi} температура перехода смещается от ~125К при $N_{Bi}=0,025$ ат.% до ~180К при $N_{Bi}=0,1$ ат.%. Активированные пленки обладают фоточувствительностью, значения которой зависят от N_{Bi} . С увеличением концентрации висмута $U_c(T)$ монотонно растет и достигает максимума при $N_{Bi}=0,1$ ат.%, при дальнейшем увеличении N_{Bi} сигнал фотоответа падает. В области высоких температур изменение $U_c(T)$ носит активационный характер. Установлено, что максимум на зависимости $U_c(T)$, совпадает с температурой смены механизма протекания тока. Анализ соотношений между энергиями показывает, что в рамках классификации [2], пленки, в зависимости от N_{Bi} , могут быть отнесены либо к G-группе (рекомбинация через поверхностные состояния посредством тепловой активации электрона над поверхностным потенциальным барьером), либо к P₁-группе (рекомбинация в объеме зерна). На низкотемпературном участке зависимости $\Delta\sigma(T)$ ($T < 180$ К) не выполняется ни одно из теоретических соотношений

Основываясь на результатах исследований с помощью соотношений [2] выполнены оценки величины поверхностного изгиба зон ϕ_s и ширины областей пространственного заряда (a), которые показали, что значения ϕ_s и a практически не зависят от N_{Bi} в пленке и слабо меняются в процессе отжига. Для неактивированных пленок $\phi_s=280$ мэВ, для активированных $\phi_s=250$ мэВ. Отсутствие зависимости ϕ_s от свойств материала свидетельствует о том, что изгиб зон определяется исключительно плотностью граничных состояний, оцененных величинами $\sim 10^{12}$ см⁻². Обсуждается роль примеси висмута в формировании фоточувствительности в пленках PbSe.

1. Т.А.Гаврикова, В.А.Зыков, С.А.Немов. ФТП, **29**, 309, 1995

2. Л.Н.Неустроев, В.В.Осипов, ФТП, т.20, в.1, с.59-65, 1986

Б52 Расчёт фоточувствительности пористого кремния для оптоэлектронных устройств

Монастырский Л.С., Соколовский Б.С.

Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Львов, Украина

Структуры пористого кремния могут быть использованы для создания кремниевых фото- и светодиодов. Важным преимуществом таких приборов по сравнению с приборами на основе A_2B_6 и A_3B_5 есть их экологичность и сравнительная дешевизна, а также хорошо отработанная в промышленности технология кремниевых микросхем.

Нами рассмотрена теоретическая модель фоточувствительности пористого кремния, в котором учитывается рекомбинация фотоносителей на поверхности пор. Модель основана на процессах генерации носителей при освещении материала, амбиполярной диффузии носителей тока в направлении внешних поверхностей, а также неравновесная рекомбинации носителей, как в объеме, так и на поверхности пор.

Решая уравнения переноса носителей с учётом граничных условий, нами были получены аналитические выражение фоточувствительности пористого материала для случаев сферических и цилиндрических форм пор. Эти выражения описывают зависимость фоточувствительности пористого кремния от размеров пор и расстояния между ними, а также от скорости поверхностной рекомбинации. Как было показано, фоточувствительность пористого кремния уменьшается с увеличением значения пористости и величины скорости поверхностной рекомбинации.

На основании предлагаемой модели можно развивать экспериментальный метод определения параметров рекомбинации носителей.

Б53 Влияние режимов низкотемпературного отжига на электрические параметры фотодиодных линеек на основе КРТ

Сизов Ф.Ф., Гуменюк-Сычевская Ж. В. Забудский В.В., Лысюк И.А.

*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина
03028, пр. Науки, 41, lihor@ukr.net*

Исследовано влияние режимов отжига на электрические характеристики фотодиодов, сформированных ионной имплантацией V^+ в эпитаксиальных слоях КРТ, полученных жидкофазной и молекулярно-лучевой эпитаксией. Длительность отжига варьировались в пределах от 10 мин. до 4 часов, в диапазоне температур от 60°C до 95°C соответственно. Отжиг производился в герметичной камере в атмосфере аргона с давлением от 0,9 до $1,5 \cdot 10^3$ мм рт. ст.

В работе исследовались вольтамперные характеристики фотодиодов при температуре $T=77$ К до и после отжига. Результаты экспериментов показывают, что в большинстве случаев в результате воздействия повышенной температуры наблюдается деградация вольтамперных характеристик фотодиодов, увеличение темновых токов и уменьшение динамического сопротивления. При некоторых режимах отдельные фотодиоды демонстрируют нетипичный характер изменения вольтамперной характеристики, уменьшение темновых токов и увеличение динамического сопротивления при обратных смещениях.

Б54 Зависимость фотонапряжения системы АФН-пленка-фоторезистор от мощности дозы рентгеновского излучения

Каримов М.А., Султонов Ш.Д., Зохидов И.

*Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан,
ferpi_info@edu.uz*

Как известно, тонкие пленки, генерирующие аномально большое фотонапряжение (АФН), также как и пленочные фоторезистивные структуры из соединений A_2B_6 реагируют на рентгеновские и γ -излучения. В данной работе исследовано влияние рентгеновских и γ -излучений на величину АФН в системе АФН-пленка-фоторезистор. Ранее поликристаллические пленки с аномальными фотовольтаическими свойствами получались только на чистой, ровной поверхности с высоким изоляционным свойством ($R \gg 10^{14}$ Ом). Нами разработана технология получения АФН пленок CdTe на поверхности фоточувствительной пленки CdS. Основное условие, при котором АФН-эффект наблюдается, состоит в том, что в процессе роста пленки подложка должна быть наклонена по отношению к направлению молекулярного пучка испаряемого вещества, т.е. полученная пленка должна иметь дендритную структуру. Поэтому фоточувствительную пленку CdS получали термовакуумным косонапылением ($\alpha=30\div 60^\circ$) при температуре подложки $300\text{-}350^\circ\text{C}$ с толщиной 0,2-0,5 мкм. Темновое сопротивление слоя CdS было $\sim 10^{12}$ Ом·см, а кратность изменения её сопротивления под действием естественного

освещения достигались значений $K \sim 10^3 \div 10^4$. Затем на поверхность CdS осаждали слой CdTe толщиной 0,5 мкм, содержащий индий, испарением CdTe и In из различных тиглей при температуре 250 °С под углом 130°. После этого бислой подвергали термической обработке на воздухе при температуре 200-300 °С в течение 10-20 мин. Образованный таким образом, многослойный фотоприемник при освещении со стороны слоя CdS светом с длиной волны 880 нм и интенсивности $I \sim 2 \cdot 10^3$ лк генерировал АФН ~600 В, а при освещении светом с длиной волны $\lambda < 500$ нм – 0 В. Зависимость $V_{\text{АФН}}$ системы от мощности дозы рентгеновского излучения и тока рентгеновской трубки показана на рис.1. Видно, что фотонапряжение наиболее сильно уменьшается в области малых мощностей излучения. Рентгеночувствительность системы зависит от чувствительности фоторезистора к видимому свету - чем больше кратность изменения сопротивления фоторезистора под действием видимого света, тем больше рентгеночувствительность системы.

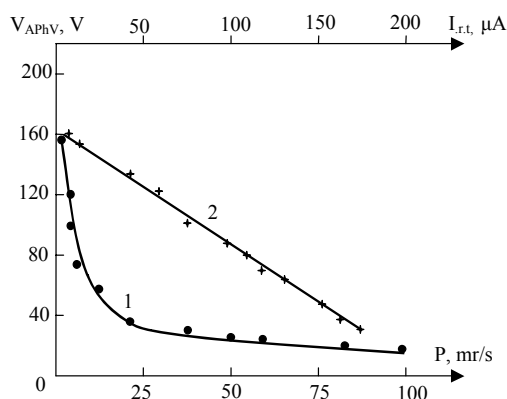


Рис.1. Зависимость $V_{\text{АФН}}$ от мощности дозы рентгеновского излучения (кривая 1) и тока рентгеновской трубки (2)

С уменьшением сопротивления фоторезистора под действием рентгеновского излучения шунтируется внутреннее сопротивление АФН-пленки и, соответственно, уменьшается фотонапряжение. Система АФН-пленка фоторезистор обладает высокой чувствительностью и малой инерционностью. Рентгеночувствительность известных датчиков на основе АФН-пленки зависит от начального значения фотонапряжения. При исследовании нами системы АФН-пленка фоторезистор такой

Б55 Спектральная зависимость комбинированной плотности состояний в области сингулярностей Ван Хова для твердых растворов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$

Белогорохов А.И., ¹Белогорохова Л.И., Денисов И.А., Пашкова Н.В., Смирнова Н.А., Флоренцев А.А., Елютин А.В.

ГНЦ РФ «Гиредмет», Москва, Россия

¹Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Полупроводниковые твердые растворы $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ привлекают к себе внимание как перспективные материалы для производства на их основе фотоприемных устройств, работающих в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн, включая 3-5 мкм и 8-12 мкм – так называемых «окна прозрачности» атмосферы. В настоящее время для этих нужд в основном используются твердые растворы $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, на основе которых созданы приборы высокого качества. Тем не менее, существует ряд проблем, связанных с нестабильностью свойств этого материала, обусловленной неконтролируемым частичным перераспределением дефектов решетки и ионов ртути в объеме, особенно в приповерхностной области, этого полупроводника. Постоянное совершенствование технологии получения $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, направленное на улучшение структурного совершенства материала, а также разработка новых конструкций ИК-фотоприемников позволило в большинстве случаев избавиться от этого недостатка. Вместе с тем, идет постоянный поиск новых подходов к решению данной проблемы. Введение четвертого компонента в тройной твердый раствор $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ иногда позволяет продвинуться в этом направлении. Добавление цинка приводит к упрочнению связей в $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$, что влечет за собой улучшение его механических свойств и положительно сказывается на стабильности рабочих характеристик ИК-детекторов. В то же время, введение еще одного

компонента приводит к необходимости решать проблему точного определения состава твердого раствора.

В настоящей работе представлены результаты исследований оптических свойств материала $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ в УФ-, видимой и ИК-областях спектра. Найдены соотношения, позволяющие по положению особых точек E_0 и E_1 в оптических спектрах оценивать состав x и y данного материала. Получено хорошее соответствие теоретических и экспериментальных результатов в области составов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ $0.09 < x < 0.22$, $0.02 < y < 0.17$.

Выращивание эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ ($0.09 < x < 0.22$, $0.02 < y < 0.17$) проводили методом жидкофазной эпитаксии в запаянной кварцевой ампуле при температуре $490\text{--}500^\circ\text{C}$ на подложках $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x=0.03\div 0.05$) ориентации $(111)B$. Выращенные слои имели p - тип проводимости. После отжига образцов в насыщенных парах ртути в течение 4-5 часов концентрация дырок составляла $(0.8\div 1.0)\times 10^{16}\text{ см}^{-3}$, подвижность носителей заряда $-\mu > 500\text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$. Плотность дислокаций в эпитаксиальных слоях не превышала значений $(2\div 4)\times 10^4\text{ см}^{-2}$.

Спектры отражения и пропускания в видимой и УФ- области длин волн регистрировались на спектрофотометре Hitachi-330 с разрешением по волновым числам 1 нм, в ИК-области с помощью Фурье - спектрометра IFS-113v (Bruker) со спектральным разрешением не хуже 0.2 см^{-1} . Обработка экспериментальных зависимостей проводилась с использованием соотношений Крамерса-Кронига. Электромагнитное излучение видимого диапазона длин волн проникает в материал $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ на глубину порядка $50\text{--}60\text{ \AA}$. Поэтому вид и форма спектральных зависимостей в окрестности особых точек в большой степени зависят от совершенства кристаллической решетки в приповерхностной области образца. Контролировалось качество обработки поверхности.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 06-02-16555 и НШ-1700.2003.3.

Б56 Широкоформатные матричные фотоприемные устройства инфракрасного диапазона спектра

Борошнев А.В.

ФГУП «ЦНИИ «Комета», Москва, Россия

Матричные фотоприемные устройства (МФПУ) инфракрасного диапазона спектра представляют интерес для использования в различных областях. В частности, такие устройства востребованы в оборонных системах, в системах по обнаружению и предотвращению чрезвычайных ситуаций, метеорологии, астрономии и других. Важнейшими характеристиками МФПУ являются величина порогового потока, спектральный диапазон фоточувствительности, размер пикселей, составляющих матрицу и число этих пикселей, определяющих формат матрицы. Ключевым элементом функционирования фотоприемных матриц является мультиплексор, обеспечивающий процесс управления и преобразование параллельного изображения входной засветки в последовательность электрических сигналов. При использовании в качестве материала фотоприемных матриц таких полупроводников как твердый раствор CdHgTe , либо полупроводниковых соединений InAs , InSb и подобных, а также Si , легированного примесями с энергией активации, соответствующей заданному спектральному диапазону фоточувствительности, используются кремниевые мультиплексоры. При этом соединение мультиплексора с фоточувствительной матрицей осуществляется с помощью индиевых столбов по flip-chip технологии. Формат матриц по данной технологии ограничен точностью процесса сборки и величиной механических напряжений из-за сопряжения материалов с различными коэффициентами теплового расширения. В этой связи представляет интерес создание МФПУ на основе материалов с близкими значениями коэффициентов теплового расширения, например, на основе соединения GaAs и твердого раствора GaAsAl . Использование этих материалов позволяет создавать МФПУ на основе

структур с квантовыми ямами, обладающих технологически управляемой фоточувствительностью в спектральном диапазоне от ~ 3 до 12 мкм. В то же время GaAs является вполне приемлемым материалом для создания эффективных мультиплексоров. В настоящей работе рассматриваются возможные пути создания широкоформатным МФПУ на основе структур такого типа.

Б57 Модифицирование свойств монокристаллического кремния для приёмников излучения легирующими добавками редкоземельных и рассеянных элементов

¹Критская Т.В., ²Трубицын Ю. В.

¹ Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье, Украина, 69006, пр. Ленина 226, E-mail: armymen@ukr.net

²Гуманитарный университет «ЗИГМУ», Запорожье, Украина, 69002, ул. Жуковского 70-Б, E-mail: trubitsyn@ukr.net

Одним из требований, предъявляемых к кремнию как материалу полупроводникового приборостроения, является его высокая стойкость к воздействию внешних факторов, возникающих при работе в экстремальных радиационных, электромагнитных и тепловых полях. Основные аспекты термического и радиационного образования дефектов в монокристаллическом кремнии позволяют сделать вывод, что скорость введения дефектов под воздействием внешних факторов, их энергетический спектр и устойчивость кремния в целом, непосредственно зависят от типа и концентрации исходных дефектов кристаллической структуры и, в первую очередь, от примесей.

Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является введение в объем полупроводникового кристалла специальных центров рекомбинации, снижающих вредное воздействие внешних возмущений, работая как стоки для избыточных электронно-дырочных пар. К таким центрам можно отнести примесные комплексы на основе изовалентных и редкоземельных элементов.

Целью проведенных исследований явилась разработка технологических режимов выращивания монокристаллов кремния методами Чохральского и БЗП, легированных изовалентными примесями (Ge, Sn, Hf), редкоземельными примесями (Gd, Dy, Yb, Er, Ho, Lu), а также одновременно с ними, электрически активной примесью – бором В или фосфором Р.

Концентрации примесей определялись методом эмиссионного спектрального анализа, методом ИК-поглощения, методом рентгеновского микрозонда.

Б58 Возможные механизмы вхождения технологических загрязнений в высокочистый БЗП-кремний (метод радиоактивных трекеров)

Трубицын Ю.В., Трубицын В.Ю., Левинзон Д.И.,
Гуманитарный университет, Запорожье, Украина

Основной проблемой получения высокочистых веществ является создание высокой стерильности технологического процесса на всей его протяженности.

Потребительские свойства полупроводникового кремния и эффективность его использования в разнообразных электронных, электротехнических и специальных устройствах зависят как от общего уровня содержания остаточных примесей, так и от присутствия того или иного конкретного химического элемента в рабочем объеме монокристалла. Возможности создания чистых технологических процессов определяются, главным образом, знанием потенциальных источников поступления загрязняющих примесей. Сложность решения проблемы объясняется необходимостью управлять процессом на уровне микроколичеств примесей.

Данная работа является продолжением исследований поведения в кремнии технологических примесей, в частности, таких элементов как **H, Fe, Na, In, Ga**, дополняющих разработанные и апробированные в промышленной практике методологии установления источников загрязнений при получении высокочистого монокристаллического кремния с использованием радиометрии. В качестве инструмента исследований использовались радиоактивные индикаторы ^3H , ^{59}Fe , ^{22}Na , ^{114}In , ^{72}Ga .

Б59 О воздействии вращения на полупроводниковый детектор гамма-излучения

Мельник И.А.

*ФГУП Томский филиал Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья (ТФ ФГУП «СНИИГГиМС»), Томск, Россия
634021, пр.Фрунзе 232, Т/ф (3822)-66-36-50; E – Mail: migranis@mail.ru*

В процессе исследований по дистанционному воздействию вращающихся объектов на показания полупроводниковой гамма – спектрометрии было обнаружено, что, во-первых, в режиме вращения (относительно статичного режима), показания интенсивности (площадь пика) гамма-излучения уменьшаются; во-вторых, формы гистограмм статистических распределений могут ушириться и стать мультиплексными [1]. Экспериментальные результаты показали то, что вращающиеся системы являются источником поля неэлектромагнитной природы, оказывающие влияние как на скорость собирания зарядов полупроводника, так и на скорость распада атомного ядра [2, 3]. Данная работа определяет причину образования пика-дубля в исследуемом энергетически - амплитудном спектре, в результате дистанционного воздействия вращающейся жидкости (посредством генерируемого поля неэлектромагнитной природы).

В качестве измерительной аппаратуры использовался полупроводниковый, *Ge(Li)*-детектор (ДГДК-63в); предусилитель (ПУГ-2К); усилитель (БУИ-3К) и анализатор (АМА-02Ф1). Измерялись площадь пика полного поглощения (пик), пропорциональная количеству регистрируемых квантов и центр тяжести пика, пропорциональный энергии фотона, от различных источников радиоактивного излучения. Обработка анализируемого спектра проводилась программой "Search", разработанной в Дубне. Ширина энергетического разрешения не превышала 3 кэВ. За один час измерений дрейф центра тяжести пика в сторону повышения либо понижения не превышал 0.5 кэВ. Двигатель коллекторный, мощностью 250 ватт, крепился к стойке. Вал двигателя, вращающийся с угловыми скоростями 2100об/мин и 6000об/мин, вертикально располагался над радиоактивным изотопным источником на расстояниях определяемых условиями экспериментов. Источники (Cs^{137} , Co^{60}) крепились на подставках различной высоты от полупроводникового детектора (ППД). Расстояние от радиоактивного источника (типа ОСГИ) до детектора подбиралось таким образом, что бы площадь пика соответствовала $S \sim 8000-11000$ импульсам за время набора спектра не более одной минуты. Измерение пика проходило в двух режимах, при работе двигателя и после его остановки. Причем вращение производилось как по часовой, так и против часовой стрелки (вид сверху).

Анализ аппаратурного спектра, в измерениях изотопа цезия (энергией гамма кванта 661.6 кэВ), выявил еще один пик со средней энергией 669.6 кэВ. Причем, его частота появления (*i*) в выборке различна для разных режимов и геометрий измерений. Назовем его пик-дубль – S_d . При измерении в режиме отсутствия вращения $S_{d1}^{st}=874$ имп., стандартная ошибка - $\sigma=54.1$, $i=15\%$ соответственно, определяем среднюю площадь пика-дубля с учетом частоты появления в выборке аппаратурных спектров, т.е. $s_d=S_d i/100$, где $s_{d1}^{st}=131$ имп. При вращении против часовой стрелки $S_{d1}^{pr}=1197$ имп., $\sigma=15.5$ $i=76\%$ $s_{d1}^{pr}=917$ имп. Таким образом, происходит значительное увеличение площади пика-дубля в режиме вращения относительно режима отсутствия вращения. Разница в показании энергии пика-дубля, при сравнении режимов (Pr-режим вращения) и (St-статичный

режим), составляет $\Delta E_{st}^{pr}=0.87$ кэВ при $\sigma^{pr}=0.04$ кэВ. Увеличение загрузки детектора так же увеличивает пик-дубль, например, в одновременном измерении двух источников изотопа цезия определены следующие значения $s_{d3}^{st}=1442$ имп., $s_{d3}^{pr}=1869$ имп.

С целью изучения поведения пика-дубля в зависимости от энергии регистрируемого фотона в следующих экспериментах, одновременно с цезием измерялись пики Co^{60} энергией 1173 кэВ и 1332 кэВ и соответственно площади пиков-дублей, энергией 1183 кэВ и 1343 кэВ. Результаты экспериментов занесены в таблицу. В этом случае, энергия регистрируемого излучения и загрузка детектора увеличиваются. При повторении эксперимента совместно с

| | 661 | S 1173 | 1332 | s_d^{669} | s_d^{1183} | s_d^{1343} |
|---|------|-----------|------|-------------|--------------|--------------|
| t | 0123 | 505 | 886 | 829 | 20 | |
| r | 536 | 742 | 988 | 87 | 10 | 22 |
| o | 085 | 386 | 769 | 331 | 543 | 173 |

кобальтом, разница энергии пика-дубля цезия следующая, $\Delta E_{st}^{pr}=1.37$ кэВ при $\sigma^{pr}=0.087$ кэВ. Корреляционный анализ выборок, полученных в режиме вращения, показал присутствие как положительной, так и отрицательной корреляции площади пика и пика-дубля.

Изменение времени собирания оказывает влияние на поведение пика-дубля. Появление данного пика обусловлено эффектом временной рекомбинации (прилипанием) зарядов [4]. Время удержания зарядов в зоне прилипания – $t_{pr}=N/[\gamma N_p(N-n_z)]$, где N -концентрация уровней прилипания; n_z -концентрация зарядов в ловушках прилипания и постоянная рекомбинации- $\gamma=\sigma v$ где, σ - сечение захвата. В данном случае, N_p – плотность свободных дырочных состояний "приведенной" к уровню ловушек зависит от глубины дырочного демаркационного уровня ловушек - E_D . Положение этого уровня определяется одинаковой вероятностью теплового заброса и вероятностью рекомбинации. Если количество эффективных дырочных состояний обозначим – $n_{ef}=Lm^{3/2}$, где L -постоянная величина, а m -эффективная масса, то $N_p=n_{ef}\exp\{-E_z+E_D\}/kT\}$ где, E_z -ширина запрещенной зоны; k -постоянная Больцмана; T - температура. Если $t_{pr}<(t-t_{cob})$ то компонента амплитуды импульса, обусловленная выбросом раннее захваченных носителей, увеличит выходную амплитуду на ~1% (появляется пик-дубль). При $t_{pr}\geq(t-t_{cob})$, выходная амплитуда будет соответствовать амплитуде пика поглощения. Таким образом, вероятность появления пика-дубля будет зависеть от отношения средних значений t_{cob} и t_{pr} , $f=(t-t_{cob})/t_{pr}$, т.е. $s_d\sim[1-\exp(-f)]$. В выражении времени удержания заряда, делитель $\gamma N_p(N-n_z)$ есть интенсивность теплового заброса из зоны прилипания дырок в валентную зону, а разница $N-n_z$, концентрация незаполненных уровней прилипания т.о., при увеличении энергии гамма кванта, разница $N-n_z$ уменьшится, соответственно s_d так же уменьшится (первая строка таблицы). Уменьшение времени собирания заряда, и увеличение эффективной массы увеличивают вероятность появления пика-дубля, следовательно, воздействие неэлектромагнитной компоненты поля на перечисленные величины, сказывается на статистических распределениях пика-дубля. В свою очередь, увеличение дефектов в кристаллической структуре ППД (т.е. N), приводит к уменьшению t_{pr} и увеличению пика-дубля. Соответственно, данный подход может быть использован в дефектоскопии полупроводниковых детекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельник И.А.//Изв. вузов. Физика, 2004, №5, с.19-26.
2. Melnik I.A.//New Energy Technologies, 2005, №1, p.58-69.
3. Мельник И.А.//Новая энергетика, 2005, №2, с.33-36.
4. Рывкин С.М., Фотоэлектрические явления в полупроводниках.//Москва, Физматгиз, 1963, 220 с.

Б60 Фототриггеры на основе твердых растворов GaS_xSe_{1-x}

Кязым-заде А.Г., Гасанова Л.Г., Абасова А.З., Дадашова В.В.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

ул.З.Халилова 23, 370145, E-Mail: bsu_aydin@yahoo.com

Исследовано влияние света из области $\lambda=0,4 - 3,0$ мкм на параметры S-диодов на основе монокристаллов твердых растворов GaS_xSe_{1-x}. Измерение проводились в интервале температур $T=77 - 300$ К. Установлено, что в симметричных структурах металл-слоистый полупроводник-металл, изготовленных на основе указанных монокристаллов, наблюдается быстродействующий эффект переключения с длительной электрической памятью в режиме генератора тока. Пороговое напряжение переключения зависит от удельного сопротивления, от температуры и от состава x твердых растворов. Причем наблюдается тенденция увеличения напряжения переключения с ростом x и его уменьшение с ростом температуры.

Установлено, что в исследуемых структурах наблюдается фототриггерный эффект под действием света из области собственного поглощения. Суть эффекта заключается в том, что если рабочая точка соответствует точке, близкой к точке переключения на темновой вольтамперной характеристике, то включение света из области собственного поглощения с достаточной интенсивностью переводит структуры из высокоомного состояния в низкоомное, т.к. напряжение переключения уменьшается под действием собственного света. Наоборот, в некоторых структурах имеет место увеличение напряжения переключения под действием света из области примесного поглощения и структура переходит в более высокоомное состояние. По-видимому, это связано с явлением отрицательной фотопроводимости, индуцированной электрическим полем, которое наблюдается в этих же структурах при относительно низких температурах.

Спектральное распределение напряжения переключения в области собственного поглощения совпадает со спектром фотопроводимости, а в области примесного поглощения - со спектром индуцированной электрическим полем отрицательной фотопроводимости.

Б61 О неравновесных фотоэлектронных процессах CdIn₂S₄ легированных медью

Зафар Кадыроглы, Гусейнов Д.Т., Керимова Т.Г.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

прос. Г.Джавида, 33, E-mail: ktaira@physics.ab.az ; zafark58@mail.ru

Полупроводниковое соединение CdIn₂S₄ является перспективным материалом для использования в оптоэлектронике.

В настоящей работе приводятся результаты исследования термостимулированной проводимости (ТСП), оптического и температурного гашения фототока (ОГФ и ТГФ), люкс-амперные характеристики (ЛАХ), стационарных и кинетических характеристик фототока в соединении CdIn₂S₄ легированного примесью Cu.

Исследованные монокристаллы получены газотранспортным методом (в качестве транспортера использовался йод) и представляли собой октаэдры черного цвета с четко выраженной огранкой. Образцы всегда имели n -тип проводимости. Для исследований отбирались фоточувствительные, высокоомные в темноте образцы с удельным сопротивлением $10^6 \div 10^8$ Ом.см., кратностью темнового и светового сопротивлений $R_m/R_{cv} = 10^2 \div 10^5$ при освещенности 200 лк белым светом при 300 К. Эксперименты проводились в температурном интервале $100 \div 400$ К, в области длин волн $0,4 \div 2,0$ мкм.

В результате проведенных экспериментов выявлены следующие эффекты в образцах CdIn₂S₄ с примесью Cu.

1. Изотермическое увеличение фоточувствительности как собственным, так и примесным светом, при довольно низких интенсивностях света.

2. Фотоэлектрическая утомляемость, которая наблюдается при освещении светом с интенсивностью больше некоторого граничного значения. При этом фотоотклик, достигнув максимального значения при включении освещения, далее медленно спадает.

3. За начальным всплеском тока следует его уменьшение (провал) после которого ток медленно возрастает и достигает своего нового значения, т.е. обнаруживается нелинейный фотоотклик.

4. Форма спектров фотопроводимости и положение максимумов в спектре меняются с изменением интенсивности света и направления сканирование длины волны падающего излучения.

5. Отрицательная остаточная проводимость, т.е. после выключения света надолго фиксируется уменьшенное значение проводимости.

6. Форма спектров ТСП зависит от температуры засветки. Если образец освещать при комнатной температуре, а, затем, не прерывая освещение охладить, то в спектре ТСП появляется новый максимум.

Предполагается, что наблюдаемые эффекты обусловлены отталкивающими кулоновскими барьерами для электронов.

Б62 Функциональные возможности пленок $CdSe_{1-x}Te_x$ в ИК-области спектра

Абдинов А.Ш., Джафаров М.А., Насиров Э.Ф., Мамедова С.А.

*Бакинский государственный университет, Институт физических проблем,
отдел физики полупроводников, Баку, Азербайджан
ул. 3.Халилова, 23, E-mail: elshan_nasirov@yahoo.com*

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования фотоэлектрических свойств пленок $CdSe_{1-x}Te_x$, имеющих прикладное значение в ИК технике. Интерес к этим пленкам вызван, прежде всего, возможностями их практического применения, обусловленными контролируемым изменением физических свойств за счет вариации состава и технологии получения. Предпринятые в этом направлении исследования показывают, что, несмотря на поликристалличность структуры пленок $CdSe_{1-x}Te_x$, осажденных из водного раствора, можно достичь необходимой степени взаимокompенсации различных уровней и реализовать в них различные фотоэлектрические эффекты.

Проведенные до настоящего времени исследования показали, что можно реализовать высокую чувствительность пленок $CdSe_{1-x}Te_x$ в широком спектральном диапазоне (0,4÷1,4 мкм) длин волн. Однако еще не до конца изучены многие особенности физических процессов, определяющих их высокую чувствительность в ближней инфракрасной (ИК) области. Целью исследований в данном сообщении было установление закономерностей и индивидуальных черт рекомбинационных и электронно-молекулярных процессов, обуславливающих высокую чувствительность в ИК-диапазоне, в зависимости от состава, режима осаждения и термической обработки.

В пленках $CdSe_{1-x}Te_x$ без термической обработки (ТО) обнаружена отрицательная инфракрасная фотопроводимость (ОИКФП). Время нарастания ОИКФП в температурном интервале 270÷320К имеет активационный характер с энергией активации 0,8÷1,0эВ, в зависимости от состава. При оптимальных условиях кратность ОИКФП составляла $\alpha = I_T/I_\Phi \geq 10^2$ (I_T - темновой, а I_Φ - световой ток). Установлено, что основные закономерности ОФП объясняются на основе двухбарьерной модели и в рассмотренных условиях носители заряда преодолевают барьер туннелированием.

Сложные центры рекомбинационного и ловушечного типа в наноразмерных пленках $CdSe_{1-x}Te_x$ после ТО на воздухе при 450⁰С в течение 10-15 мин. обуславливают

проявление в них ярко выраженной индуцированной примесной фотопроводимости в ИК-области.

Образование ассоциатов Cd_i-Cd_i , $V_{Se}-Cd_i$ и др. обеспечивает появление системы оптически активных электронных состояний, разнесенных в интервале энергий $0,3 \div 0,6$ эВ, и позволяет использовать пленки $CdSe_{1-x}Te_x$ для создания на их основе неохлаждаемых фотоприемников среднего ИК-диапазона.

В пленках $CdSe_{1-x}Te_x$ при освещении светом длиной волны $\lambda=0,95$ мкм наблюдались аномальная фотопроводимость и эффект фотопамяти, связанные с существованием в них дефектов с метастабильными состояниями. Эффект фотопамяти лимитируется туннельными переходами неосновных локализованных электронов и дырок между r - и s -центрами. Пленки $CdSe_{1-x}Te_x$ могут быть использованы в ИК технике и в негатронике.

Б63 Фотоприемники видимого и ближнего ИК-диапазона с управляемой чувствительностью на основе монокристаллов p-GaSe, легированных редкоземельными элементами

Абдинов А.Ш., Бабаева Р.Ф., Багирова А.Т., Рзаев Р.М.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

При различных внешних условиях ($77 \leq T \leq 400$ К, $0,30 \leq \lambda \leq 3,00$ мкм, $\Phi \leq 10^2$ Лк, $E \leq 10^3$ В/см), а также процентных содержаниях ($N_{PЗЭ} \approx 0; 10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}; 10^{-1}$ ат.%) и химической природе (Gd, Ho, Dy) введенной примеси редкоземельных элементов (PЗЭ) исследованы особенности собственной и сенсibilизированной фотопроводимостей в монокристаллах p-GaSe<PЗЭ>.

Установлено, что в исходном состоянии кристаллы p-GaSe и p-GaSe<PЗЭ> обладают фоточувствительностью лишь в области собственного поглощения ($0,35 \leq \lambda \leq 0,65$ мкм с максимумом при $\lambda \approx 0,56$ мкм). С изменением $N_{PЗЭ}$ в интервале $0 \div 10^{-1}$ ат.% немонотонно меняются красная граница (почти на $0,08 \div 0,15$ эВ) и скорость релаксации (в пределах $10^5 \div 10^{-3}$ секунд) фотопроводимости, а также степень стабильности основных фотоэлектрических параметров.

При воздействии собственной подсветкой большой интенсивностью, или внешним электрическим напряжением (U), большего некоторого критического изучаемые образцы приобретают фоточувствительность также в примесной области ($0,80 \leq \lambda \leq 2,80$ мкм с $\lambda_m \approx 1,60$ мкм). Величина этой - сенсibilизированной примесной фотопроводимости ($\Delta I_{сп}$) помимо интенсивности и длины волны сканирующего и сенсibilизирующего света, приложенного напряжения, зависит также от уровня легирования.

Показано, что сенсibilизация ИК примесной фотопроводимости в кристаллах p-GaSe связана с наличием в их запрещенной зоне мелких ($\epsilon_\alpha \approx \epsilon_v + 0,40$ эВ) уровней прилипания для дырок. С ростом $N_{PЗЭ}$, из-за роста концентрации этих уровней меняется величина $\Delta I_{сп}$. Наибольшая степень стабильности фотоэлектрических параметров в изучаемых кристаллах наблюдается при $N_{PЗЭ} \approx 10^{-2} \div 10^{-1}$ ат.%.

Полученные результаты позволяют рекомендовать кристаллы p-GaSe<PЗЭ> для создания высокостабильных фотоприемников видимого и ближнего ИК-излучения с управляемой чувствительностью.

Б64 Получение и исследование электроосажденных гетеропереходов

p-Si/Cd_{0.3}Zn_{0.7}S_{0.4}Se_{0.6}

Абдинов А.Ш., Мамедов Г.М., Амирова С.И.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан
ул. З.Халилова-23, 370148, e-mail: mhhuseyng@yahoo.com, Tel: 99412-39-73-73

Среди семейства группы соединений A^{II}B^{VI}, Cd_{0.3}Zn_{0.7}S был выбран как подходящая контактная пара к кремниевым подложкам. Как сообщено в мировой научной литературе, тонкопленочные гетеропереходы (ГП) изготовленные на основе этих материалов, обладают эффективностью почти 18-20 %. Нами показано, что эффективность гетеропереходов p-Si/Cd_{0.3}Zn_{0.7}S можно увеличить добавлением селена к этим пленкам.

Исследованные нами гетеропереходы p-Si/Cd_{0.3}Zn_{0.7}S_{0.4}Se_{0.6} изготовлены методом электрохимического осаждения и изучено влияние режима термической обработки (ТО) на электрические и фотоэлектрические свойства этих ГП.

Поликристаллические пленки n-Cd_{0.3}Zn_{0.7}S_{0.4}Se_{0.6} были осаждены на подложках p-Si электрохимическим способом из раствора CdCl₂ + ZnCl₂ + Na₂S₂O₃ + SeO₂ (или Na₂Se₂O₃). Потенциал осаждения и плотность тока при этом составляли - 0.76 В и 14 мА/см², соответственно. Непосредственно осажденные пленки, толщиной 7 - 8 мкм, имели хорошую адгезию к подложке. Все пленки, как непосредственно осажденные, так и термообработанные имели n-тип проводимости. Токовыми контактами служили металлический индий или серебряная паста, к кремнию и к пленкам Cd_{0.3}Zn_{0.7}S_{0.4}Se_{0.6}, соответственно.

Исследовано зависимость электрических и фотоэлектрических параметров этих ГП от режима ТО. Пропускное направление реализуется при отрицательной полярности внешнего смещения на Cd_{0.3}Zn_{0.7}S_{0.4}Se_{0.6}. Коэффициент выпрямления для нетермообработанных структур при комнатной температуре, составляла $k = 130$. С увеличением температуры отжига, от 0 до 400°C ($\tau = 6$ мин), шунтирующее сопротивление ГП уменьшается, что указывает на интенсивную кристаллизацию пленок Cd_{0.3}Zn_{0.7}S_{0.4}Se_{0.6} и формированию перехода. Максимальное значение коэффициента выпрямления при этом составляла $k = 2300$.

С увеличением температуры отжига, от 0 до 170°C ($\tau = 2$ мин), интенсивность пика в спектральном распределении тока короткого замыкания при $\lambda_{m1} = 0.593$ мкм, резко увеличивается. Увеличение температуры отжига до 400°C приводит к резкому увеличению фоточувствительности гетеропереходов в широком спектральном диапазоне 0.560 - 1.34 мкм. При этом напряжение холостого хода и ток короткого замыкания определенные из световой ВАХ составляли $V_{xx} = 0.564$ В и $I_{K3} = 18.7$ мА/см², соответственно.

Б65 Фоточувствительность гетеропереходов

SnO₂/p-CdTe/Cd_{0.8}Zn_{0.2}S_{0.1}Se_{0.9} в видимой и ближней ИК-области спектра

Мамедов Г.М., Амирова С.И.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан
ул. З.Халилова-23, 370148, e-mail: mhhuseyng@yahoo.com, Tel: 99412-39-73-73

Методом электрохимического осаждения изготовлены анизотипные гетероструктуры p-CdTe/Cd_{0.8}Zn_{0.2}S_{0.1}Se_{0.9}. Изучены зависимости их электрических и фотоэлектрических свойств от режима термической обработки.

Исследование ВАХ образцов показало, что все полученные структуры SnO₂/p-CdTe/Cd_{0.8}Zn_{0.2}S_{0.1}Se_{0.9} обладают выпрямляющим свойством ($k = 60-70$ при $U = 1$ В). Пропускное направление, как правило, реализуется при положительной полярности внешнего смещения на p-CdTe. Показано, что кривые ВАХ содержат два участка. На

первом участке, до 0.84 В, доминируют туннельно-рекомбинационные токи. После ТО механизм токопереноса существенно изменяется: туннельные токи резко уменьшаются, что свидетельствует об уменьшении дефектов, связанных с несоответствиями постоянных решеток контактирующих материалов или технологическим режимом, участвующих в многоступенчатом процессе формирования туннельного тока.

До проведения ТО все образцы проявляли слабую фоточувствительность во всем спектральном диапазоне. При освещении имитатором солнца мощностью $W = 100$ мВт/см², нетермообработанные структуры имели следующие фотоэлектрические параметры: $I_{кз} \approx 4.76$ мА/см², $U_{хх} \approx 0.448$ В, $D^* = 3 \cdot 10^4$ см·Гц^{1/2}·Вт⁻¹. Отжиг на воздухе приводил к значительному увеличению фоточувствительности пленочных элементов. Показано, что после ТО при $t = 300^\circ\text{C}$ и $\tau = 9-10$ мин величина фоточувствительности растет, ее спектр расширяется и в области длин волн $0.8 \div 1.04$ мкм величина фоточувствительности увеличивается почти в 2 раза. При этом исследуемые структуры обладали значениями плотности фототока короткого замыкания, напряжения холостого хода и обнаружительной способности: $I_{sc} = 19,4$ мА/см², $U_{oc} = 637$ мВ, $D^* = 8 \cdot 10^6$ см·Гц^{1/2}·Вт⁻¹.

Б66 Новые приемники излучения на основе монокристаллов TlGaS₂<Yb>

Мустафаева С.Н.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Цель настоящей работы – изучение влияния легирования монокристаллов TlGaS₂ иттербием на их фотоэлектрические характеристики.

Для получения гомогенных образцов TlGaS₂<Yb> (процентное содержание иттербия в кристаллах взято равным 0.1 mol. %) использован метод прямого синтеза исходных компонентов. Монокристаллы TlGa_{0.999}Yb_{0.001}S₂ выращены методом Бриджмена.

Из результатов изучения фотоэлектрических свойств монокристаллов TlGaS₂ и TlGaS₂<Yb> следует, что если в нелегированном TlGaS₂ максимум фототока приходился на энергию $h\nu_{\max} = 2.72$ eV, то после легирования иттербием $h\nu_{\max} = 2.68$ eV. Кроме того, после легирования монокристаллов TlGaS₂ иттербием область спектральной чувствительности значительно расширялась. При $h\nu = 2.15$ и 2.30 eV на спектрах фототока TlGaS₂ и TlGaS₂<Yb> наблюдались два примесных пика. Отличительной особенностью является то, что если в TlGaS₂ отношение примесного фототока к собственному составляло менее 0.01, то в TlGaS₂<Yb> это отношение было выше 0.6, т.е. после легирования монокристаллов иттербием значительно увеличивалась амплитуда примесного фототока.

Таким образом, в результате изучения фотоэлектрических свойств монокристаллов TlGa_{1-x}Yb_xS₂ ($x = 0; 0.01$) установлено, что частичное замещение галлия иттербием приводит к увеличению удельного сопротивления полученных образцов, смещению максимума собственного фототока в длинноволновую область спектра, существенному расширению области спектральной чувствительности и увеличению амплитуды примесного фототока.

Б67 Влияние облучения электронами на оптические и фотоэлектрические свойства тонких пленок n-Ge/Ge_{1-x}Si_x

Аббасов Ш.М., Агавердиева Г.Т., Нурмамедыва, Ф.Н., Фараджова У.Ф.

Институт радиационных проблем Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

К настоящему времени наиболее изученными являются структуры на основе полупроводников, III и V групп. В некоторых случаях для структур могут быть выбраны компоненты с одинаковыми периодами решетки, что позволяет осуществлять

контрольную гетероэпитаксию и получают высококачественные структуры. Однако наиболее важными в прикладном отношении остаются структуры на основе элементарных полупроводников, в особенности Ge и Si как основного материала полупроводниковой микроэлектроники.

Свойства объемных кристаллов $Ge_{1-x}Si_x$ исследуются уже много лет. В зависимости от химического состава ширина запрещенной зоны этих соединений может изменяться от 0,7 эВ до 1,1 и например, фотоприемники на основе $Ge_{1-x}Si_x$ могут работать в спектральном диапазоне 0,5÷2 мкм, что позволяет использовать в волоконно-оптических линиях связи. Кристаллическая структура и физические свойства пленок во многом определяются параметрами подложек. Желательно максимально возможное совпадение параметров решетки, коэффициентов теплового расширения подложки и напыляемой пленки. Использование в качестве подложек монокристаллических пластин указанных соединений или твердых растворов позволяет добиться полного совпадения всех параметров. В данной работе рассматриваются особенности роста эпитаксиальных пленок $Ge_{1-x}Si_x$ ($x=0,05$) выращенных методом конденсации молекулярных пучков. Исследовались эпитаксиальные пленки $Ge_{1-x}Si_x$ ($x=0,05$) на подложках Ge полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Толщина пленок составляла около 0,5÷1 мкм. Измерения проводились на структурах, образованных двумя серебряными контактами, полученными напылением в вакууме. Ширина зазора между контактами составляла 0,5-1,5 см при величине зазора от 16 до 64 мкм. По стандартной схеме могли измеряться и ёмкостная, и омическая компоненты проводимости структуры.

Исходные образцы облучались при 77 К температуре на линейном ускорителе электронов ЭЛУ-6 ($E=5\text{МэВ}$, $\Phi=5\cdot 10^{15}$ эл/см²). У каждого образца до и после облучения исследовались температурные зависимости удельного сопротивления ρ .

Общей задачей настоящей работы было исследование влияния глубокого облучения электронами на фотоэлектрические и оптические свойства нелегированных монокристаллов n- $Ge_{1-x}Si_x$ ($x=0,05$) с целью определения параметров энергетического спектра носителей заряда для этих материалов, выяснения характера изменения их свойств и, в частности, возможности достижения предельных характеристик материалов в результате облучения. Установлено, что при выше приведенных условиях эпитаксиальные пленки являются фоточувствительными при температуре жидкого азота (77К). В результате после облучения при 77 К интегральным потоком

$\Phi=5\cdot 10^{15}$ эл/см² фоточувствительность образцов резко увеличивается.

Б68 Просветление приемников электромагнитного излучения

Касимов Р.М., Карамалиев Р.А.

Институт химических проблем Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

e-mail:karamiz@box.az

Чувствительность приемников излучения инфракрасного и оптического диапазонов волн может быть существенно улучшена за счет более полного поглощения в них падающего электромагнитного излучения. Это достигается за счет использования просветляющего слоя из не поглощающего материала, наносимого на поверхность приемника [1].

В общем случае, инфракрасные и оптические приемники излучения могут быть представлены в виде плоских двухслойных систем, содержащих поглощающую подложку бесконечной толщины (например, кремний) и нанесенного на нее покрытия непоглощающего излучения (например, оксид кремния) [2]. Как правило, используемые материалы подложки и покрытия имеют строго определенные, заданные значения оптических параметров. Поэтому, уменьшить отражение падающего излучения у таких приемников можно в лучшем случае путем подбора толщины слоя покрытия,

осуществляемого в процессе технологического нанесения его на поглощающую подложку [3]. Однако создание полностью не отражающих приемников не всегда технически осуществимо из-за большой разницы между величинами коэффициентов преломления подложки n и покрытия n_1 . Эти различия могут приводить к нарушению условия $n_1 < n^2$, необходимого для полного гашения волны в приемнике [4]. Поэтому, целесообразно, не изменяя существующую технологию изготовления таких антиотражающих приемников излучения, рассмотреть возможность применения наряду с основным покрытием дополнительного просветляющего покрытия из не поглощающего вещества.

Для решения данной задачи проведены теоретические исследования характеристик отражения волны просветленных приемников. Эти исследования позволили установить функциональную связь между избирательными значениями коэффициентов преломления веществ подобной трехслойной системы и толщины слоя основного покрытия, при которых такая система обеспечивает полное гашение падающего на нее излучение. Таким образом, при заданных значениях оптических параметров приемника излучения его чувствительность может быть повышена подбором толщины слоя основного покрытия и использованием в качестве материала слоя просветляющего покрытия вещества с соответственно выбранной величиной коэффициента преломления.

Литература

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. - М.:Физматгиз.1957.- 502 с.
2. Ван де Виле. Сб."Полупроводниковые формирователи сигналов изображения" М.:Мир.1979.- 576 с.
- 3.Ф.Д.Касимов, Ф.Г.Агаев,Н.А.Филинюк. Физико-технические и схемотехнические особенности проектирования кремниевых микроэлектронных преобразователей на основе негатронов – Баку. Элм.1999 – 234 с.
4. Ч.О.Каджар, Р.М.Касимов, С.Р.Касимова. Прикладная физика.2000, № 4, с.101-107.

Б69 Зависимость коэффициента неидеальности от высоты барьера диода Шоттки

Асланова А.Р. Исмаилов Т.Г.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Локальная высота потенциального барьера микроучастков реальных диодов Шоттки (ДШ) из-за ряда объективных причин имеют совершенно различные значения и они электрически взаимодействуют [1]. Значит, ВАХ реальных ДШ, следовательно, высота потенциального барьера и коэффициент неидеальности являются интегральными.

Экспериментально измеренные ВАХ реальных ДШ определяются действующими параметрами контактной площади (S_D), высоты барьера (Φ_{BD}), коэффициент неидеальности (β_D), величина которых может заметно отличаться от теоретически рассчитанных. При этом они становятся функциями температуры. Получено, что между Φ_{BD} и β_D существует определенная корреляция. Действительно, если при данной температуре ВАХ ДШ описывается в основном первой части с Φ_{BD} ДШ будет меньше $\bar{\Phi}_B$ и величина β_D будет определяться аномальным эффектом Шоттки, согласно которому он существенно превышает единицу. А если же она описывается второй части с Φ_{BD} ДШ будет больше $\bar{\Phi}_B$ и величина β_D будет определяться нормальным эффектом Шоттки, согласно которому он немного превышает единицу. Значит, для одного и того же ДШ чем выше становится действующая высота барьера, тем меньшее значение приобретает действующий коэффициент неидеальности. Это ярко выражается в том случае, если Φ_{BD} имеет значение, меньшее $\bar{\Phi}_B$.

Таким образом, из представленного материала следует, что зависимость между высотой барьера и коэффициентом неидеальности реального ДШ в большей степени обусловлена эмиссионной неоднородностью границы раздела реальных контактов металл-полупроводник.

1. Мамедов Р.К. Контакты металл-полупроводник с электрическим полем пятен, Баку, БГУ, 2003, 231 с.

Б70 Плазмон-фононное взаимодействие в тонких пленках α -Ag₂Se

Алекперова Ш.М., Алиев А.А., Джалилова Х.Д., Гаджиева Г.С.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

ИК отражение от тонких пленок α -Ag₂Se, с концентрацией носителей тока $N=4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ исследовано при 300 К. Впервые на экспериментальных ИК спектрах отражения $R(\lambda)$ тонких пленок α -Ag₂Se за плазменным минимумом (1150 см^{-1}) обнаружены дополнительные, четко выраженные два минимума (800 см^{-1} и 550 см^{-1}), обусловленные взаимодействием плазмонов и длинноволновых оптических (ЛО) фононов.

Тонкие пленки α -Ag₂Se (0,4 мкм) получены вакуумным напылением ($\sim 10^{-4}$ Па) на подогретые, свежесколотые поверхности NaCl и оптическое стекло. Идентичность пленки с исходной шихтой определена электронографическим методом, $R(\lambda)$ и $T(\lambda)$ сняты в неполяризованном свете при нормальном падении луча на ИК-спектрометре «Specord-IR» и дублированы на ИКС-29 в интервале 2,5-25 мкм. Плазмон-фононное взаимодействие вносит вклад в спектральную зависимость $\epsilon_1(\omega)$, $\epsilon_2(\omega)$ и $-I_m \epsilon^{-1}(\omega)$. Триpletная структура $-I_m \epsilon^{-1}(\omega)$ обусловлена потерей энергии в процессе плазмон-фононного взаимодействия.

Проведенные оптические исследования на тонких пленках α -Ag₂Se делают возможным применения их в качестве ИК оптических фильтров.

Б71 Влияние содержания кислорода в высокочистом теллуре на получение эпитаксиальных структур CdHgTe для ИК-приемников

Парфенов Н.А., Резвицкий В.В., Рябиков В.М., Тербан В.А., Шепель Л.Г.

ОАО «Чистые металлы», Светловодск, Украина

ул. Заводская 3, 27507, тел. +380 (5236) 26671, e-mail: post@puremetals.com.ua

Прогресс в совершенствовании ИК-техники неразрывно связан с разработкой и освоением фоточувствительных материалов чувствительных в диапазоне 3-5 и 8-12 мкм. Базовым материалом для фотоприемников диапазона 8-12 мкм является монокристаллический твердый раствор кадмий-ртуть-теллур (КРТ) [1].

Переход к матричным элементам фотоприемных устройств и увеличение числа пикселей на одном кристалле требует перехода от объемных кристаллов к эпитаксиальным структурам с высокой однородностью свойств [2]. Полученные методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) гетероэпитаксиальные структуры КРТ большой площади (диаметром 50 мм и более) позволили разработчикам приборов создать фотоприемные модули размером 128 x 128 пикселей и больше [3]. Однако, как показали детальные испытания таких приборов, остается неразрешенной проблема деградации материала.

Для гетероэпитаксиальных структур КРТ диаметром до 50 мм, полученных методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ), характерны высокие электрофизические параметры при их достаточной стабильности. К недостаткам таких структур следует отнести, прежде всего, макронеоднородности геометрии свободной поверхности. Существенную роль на качество поверхности эпитаксиального слоя оказывают шлаки и следы окислов в растворе-расплаве.

Предложена дополнительная стадия очистки теллура от примеси кислорода методом многопроходной направленной кристаллизации в потоке особочистого водорода с последующей фильтрацией расплава центральной части слитка. Такой подход позволяет получать слитки теллура с низким содержанием остаточного кислорода.

Применение теллура с пониженным содержанием кислорода в качестве растворителя при ЖФЭ слоев КРТ приводит к заметному улучшению качества свободной поверхности и сохранению высоких электрофизических параметров. Наблюдаемое явление изменения морфологии свободной поверхности возможно связано с изменением вязкости раствора-расплава при снижении содержания кислорода до предела его растворимости в теллуре при температуре удаления раствора-расплава.

Литература:

1. Курбанов Л.Н. Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра. – М.: Из-во МФТИ, 1999. – 320 с.
2. Барышев Н.С. Свойства и применение узкозонных полупроводников. – Казань: УНИПРЕСС. – 2000. – 434 с.
3. Пономаренко В.П., Филачев А.М. Фотоэлектронные модули для перспективных оптико-электронных систем в ИК-области спектра. XVIII международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Тезисы докладов. – М.: 2004.

Б72 Стимулированная электрическим полем и ИК-облучением осцилляции тока в $\text{Ag}_3\text{In}_5\text{Se}_9$

Гахраманов Н.Ф., Бархалов Б.Ш., Нуруллаев Ю.Г.

Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан

В работе приведены результаты исследования фотоэлектрических свойств монокристаллов $\text{Ag}_3\text{In}_5\text{Se}_9$ в сильных электрических полях при наличии ИК-облучения. При исследовании спектра фотопроводимости указанного кристалла выявлено, что сильное электрическое поле в определенном интервале температур (200÷220 К) индуцирует примесную фотопроводимость. При этом с увеличением напряженности поля амплитуда пика примесной фотопроводимости увеличивается. Начиная с некоторого значения напряженности электрического поля ($E > 400$ В/см) при облучении образца светом из ИК-области спектра в образцах из монокристалла $\text{Ag}_3\text{In}_5\text{Se}_9$ возникают низкочастотные осцилляции тока, выраженные на осциллограммах в виде периодически повторяющихся импульсов различной формы. В зависимости от интенсивности и длины волны К-излучения, напряженности электрического поля и температуры наблюдаются осцилляции тока в диапазоне частот 0,8÷200 Гц. Выявленные особенности стимулированной электрическим полем и ИК-облучением осцилляции тока в $\text{Ag}_3\text{In}_5\text{Se}_9$ объясняются на основе трехуровневой системы, в согласии с которой полевая зависимость сечения захвата носителей заряда на локальные уровни стимулирует примесную фотопроводимость при возбуждении образца ИК-излучением в интервале 1,12÷1,2 мкм и 1,56-1,75 мкм, что позволяет рекомендовать этот материал для изготовления селективных фотоприемников с высокой разрешающей способностью для работы в указанном спектральном диапазоне.

Б73 Стенд контроля параметров матричного ФПУ теплопеленгационного устройства

Алексеев Ю.В., Арзамасов Д.И., Вахитов М.А., Нигматуллина Р.Р.,
Сунцов В.В., Хисамов Р.Ш.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

Разработан и изготовлен стенд контроля параметров матричного фотоприемного устройства (МФПУ) из антимолибдита индия на область спектра 3-5 мкм. МФПУ состоит из смотрящей матрицы с числом фоточувствительных элементов (ФЧЭ) 128×128, состыкованной на индиевых микростолбиках с мультиплексором с покадровым накоплением, и микрокриогенной системы Сплит-Стирлинг. При частоте кадров 800–1000 Гц пороговая мощность на элемент матрицы составляет не более $3 \cdot 10^{-13}$ Вт, динамический диапазон – 60÷80 дБ.

В состав стенда входят: корпус, модуль МФПУ, объектив, точечный источник инфракрасного излучения, интерфейсный модуль, персональный компьютер (ПК) с платой ввода-вывода L-783.

Характеристики объектива позволяют исследовать матрицу ФПУ с дискретностью до одного ФЧЭ. Интерфейсный модуль обеспечивает усиление и оцифровку видеосигналов, формирует сигналы управления мультиплексором и осуществляет обмен данными с ПК. Программное обеспечение (ПО) ПК и сигнального процессора платы L-783 позволяет выполнять ввод и обработку изображений в реальном масштабе времени.

С помощью стенда возможно решение следующих задач:

- отладка программно-аппаратных средств управления МФПУ;
- входной контроль МФПУ.

С использованием стенда проведено исследование характеристик макетного образца МФПУ в объеме:

- измерение спектральной характеристики чувствительности;
- измерение среднего значения удельной обнаружительной способности в максимуме спектральной чувствительности;
- измерение количества неработающих ФЧЭ и количества неработающих элементов, расположенных в центральной зоне 8×8 элементов;
- измерение вольтовой чувствительности и дисперсии ее неоднородности;
- измерение коэффициента фотоэлектрической связи;
- измерение динамического диапазона выходного сигнала;
- измерение максимальной частоты мультиплексирования сигнала.

Б74 Стенд контроля параметров БИС мультиплексоров и матричных фотоприемников

Вахитов М.А., Михайлов Д.В., Нигматуллина Р.Р., Сунцов В.В., Сюняев Л.З.
ФГУП НПО «ГИПО», Казань, Россия

Разработан и изготовлен стенд, предназначенный для контроля параметров БИС мультиплексоров формата 128x128 и соответствующих фотоприемных устройств.

Стенд спроектирован и изготовлен на базе IBM совместимого персонального компьютера и подключенной к шине PCI платы L-783 фирмы ЗАО «L-Card», предназначенной для ввода, вывода и обработки аналоговой и цифровой информации.

Стенд содержит плату аналоговую с входным разъемом, состоящим из двух DIP-панелей с нулевым усилением для подключения БИС мультиплексора в технологическом корпусе, переходной платы к мультиплексору, плату питания БИС и стенда, плату

цифровую ВЭ-4046, два жгута для подключения стенда к плате L-783 длиной 200 мм и плату имитатора мультиплексора.

Стенд обеспечивает формирование, регулировку и контроль цифровых и аналоговых сигналов, обеспечивающих работу мультиплексора.

Стенд работает под управлением персонального компьютера. Обмен управляющими и информационными сигналами осуществляется через плату ввода/вывода L-783. Для управления работой стенда разработано соответствующее программное обеспечение, которое позволяет:

- выполнять начальный и текущий контроль исправности стенда и мультиплексора;
- задавать режимы работы и контролировать правильность их установки;
- контролировать параметры работы аппаратуры (силу тока, напряжение, сопротивление в различных участках электрической схемы);
- проводить измерения с автоматической установкой и контролем заданных параметров, а при необходимости вводить с клавиатуры другие значения аналоговых и цифровых сигналов;
- записывать кадры для их последующей обработки и интерпретации;
- визуализировать результаты работы в виде графиков и изображений;
- выполнять необходимую математическую обработку для оценки качества мультиплексора.

Питание стенда (+5 В, 0,8...1,2 А) осуществляется от платы L-783.

Габаритные размеры корпуса стенда – 140x140x70.

Б75 Определение параметров уровней прилипания, ответственных за фотоэлектретное состояние в пленках CdTe

Набиев Г.А.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

ferpi_info@edu.uz

В данной работе показана возможность определения параметров уровней прилипания, ответственных за фотоэлектретное состояние в пленках CdTe легированных Ag с помощью релаксационных кривых.

Фотоэлектретное состояние без внешнего поляризующего поля наблюдается в пленках CdTe, легированных серебром, где фотоэлектретное напряжение в основном, релаксирует по закону

$$V = V_{01} e^{-\frac{t}{\tau_1^*}} + V_{02} e^{-\frac{t}{\tau_2^*}} \quad (1)$$

здесь V_{01} , V_{02} – фотоэлектретные напряжения, создаваемые первым и вторым уровнями, соответственно, при $t=0$. τ_1^* , τ_2^* - характеристические времена релаксации фотонапряжений, связанных первым и вторым уровнями, которые определяются как

$$\ln\left(\frac{\tau_1^*}{\tau'} N_c\right) = \ln M_1 + \frac{\Delta E_{\Lambda 1}}{kT} \quad (2), \quad \ln\left(\frac{\tau_2^*}{\tau'} N_c\right) = \ln M_2 + \frac{\Delta E_{\Lambda 2}}{kT} \quad (3)$$

Отсюда видно, что по температурной зависимости времени релаксации τ_1^* , τ_2^* , характеристического времени релаксации фотонапряжения τ' можно определить энергии активации $\Delta E_{\Lambda 1}$, $\Delta E_{\Lambda 2}$ и концентрацию примесей M_1 , M_2 на уровнях, ответственных за фотоэлектретное состояние. Температурная зависимость в координатах

$\ln\left(\frac{\tau^*}{\tau'} N_c\right) \sim (kT)^{-1}$, построенная для каждого уровня должна линейаризоваться, а наклон получившихся прямых дают энергии активации соответствующих уровней. Продолжение

этих линий до пересечения с осью ординат позволяет определить концентрации примесей M_1, M_2 .

Найденное из такого графика значение энергии активации первого уровня равно $E_c-1,18$ эВ, а концентрация примесей $M_1=10^6\text{м}^{-3}$. Энергия активации второго уровня оказалось равной $E_c-1,35$ эВ, а концентрация примесей $M_2=0,7\cdot 10^4\text{м}^{-3}$.

Результаты данной работы показывают, что серебро образует в теллуриде кадмия акцепторные уровни $E_c-1,18$ эВ и $E_c-1,35$ эВ, которые являются ловушками для электронов.

Таким образом, показано, что на основе изучения релаксационных характеристик АФН – эффекта и фотоэлектрического напряжения, как минимум при двух температурах, можно определить энергию активации и концентрацию примесей в р-п- переходных структурах с двумя глубокими уровнями.

Б76 Исследование влияние ионизирующих излучений на фотоэлектрические свойства

Тохиров М., Тохиров К.Р.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Исследование проводилось на монокристаллах CdS и ZnS, выращенных из паровой фазы и на поликристаллических образцах, полученных нами рекристаллизацией в вакууме под откачкой мелких монокристаллов в поликристаллический монолит. Темновое сопротивление образцов находилось в пределах от 10^9 - до 10^{12} Ом.

Облучение электронами с энергией 100 кэВ, рентгеновскими квантами с энергией 50 кэВ, ультрафиолетовым (УФ) и лазерным излучениями проводилось интегральными потоками до $1\cdot 10^{18}$ эл.см⁻² и $1\cdot 10^{18}$ кв.см⁻² при температуре 80 К, 293 К. После облучения образцов проведены электрические, фотоэлектрические и фотоёмкостные измерения.

В результате облучения наблюдалось возрастание сопротивления и увеличение напряжения сигнала шума образцов. С возрастанием дозы облучения увеличение сопротивления и напряжения сигнала шума имеет нелинейный характер и при интегральных потоках $5\cdot 10^{17}$ эл.см⁻² и $7\cdot 10^{17}$ кв.см⁻² наблюдается насыщение, что возможно, обусловлено наложением отжига, протекающего во время облучения [1].

Для выяснения вопроса об образовании и устойчивости эффекта был изучен процесс отжига облученных дозой $1\cdot 10^{18}$ кв.см⁻² образцов CdS и ZnS. Время отжига при каждой температуре составляло 10 минут. Доля остаточного эффекта оценивалась фотоёмкостными измерениями. Отжиг происходит в три стадии: I(100-120) К, II(140-180) К и III (300-350) К, которые четко проявляются на всех исследованных образцах.

Анализ экспериментальных результатов свидетельствует о доминирующей роли зависимости $P_c=f(I)$, P_c - вероятность процесса, I-плотность потока излучений. Вопрос о роли электронной возбуждении в процессе деструкции решетки – это вопрос о каналах перехода энергии электронного возбуждения в энергию локальной области кристаллической решетки. Естественным подходом к такой проблеме является изучение роли электрон-фононного взаимодействия в атомных процессах в твердых телах.

Литература:

1. Тохиров М., Тохиров К. Кристаллические приемники рентгеновского излучения. ИТЖ ФерПИ, 2002 №4, 77 с.

Б77 Фотомагнитный эффект в АФН – пленках $PbSe\cdot Sb_2Se_3$

Найманбоев Р., Тохиров М.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Целью настоящей работы явилось изучения влияние магнитного поля на фотоэлектрические свойства тонких пленок, изготовленных из твердых растворов $PbSe\cdot Sb_2Se_3$ и выяснение перспектив их практического использования.

Исследования в области эффекта аномально больших фотонапряжений показали, что пленки $\text{PbSeSb}_2\text{Se}_3$ представляют собой цепочки, состоящие из десятков и сотен тысяч микроскопических p-n- переходов, получаемых в едином технологическом цикле напыления, и генерирующие при освещении фотонапряжения порядка сотен и тысяч вольт на 1 см длины. Следовательно, в АФН-пленках $\text{PbSeSb}_2\text{Se}_3$ можно было ожидать существование эффекта аномально больших фотоманнитных напряжений. Измерения, проведенные на большом количестве образцов, показали, что в пленках $\text{PbSeSb}_2\text{Se}_3$ освещаемых в магнитном поле, направленном параллельно, поверхности образца и перпендикулярно к линии, вдоль которой развивается АФН-эффект, возникает напряжение, зависящее от параметров магнитного поля. Это напряжение исчезает, если ориентацию образца по отношению к магнитному полю изменить на 90° . Изменение фазы магнитного поля приводит к изменению фазы обнаруженного напряжения. Чувствительность пленок $\text{PbSeSb}_2\text{Se}_3$ к магнитному полю составляет несколько милливольт на эрстед, а фото магнитное напряжение достигает величины $\cong 50 \div 60 B$ при $H \cong 10^2 \text{ кЭ}$, $B \cong 2,8 \cdot 10^5 \text{ лк}$. Разработано методика и устройства для измерений сигналов ФМЭ в высокоомных образцах на фоне больших вентильных фотонапряжений. Исследовано зависимость фотоманнитных напряжений от интенсивности и спектрального состава возбуждающего света напряженности магнитного поля и температуры. Люксовольтовые характеристики (ЛВХ) при малых ($B \leq 10^4 \text{ лк}$) интенсивностях света линейны, в области значений $2 \cdot 10^4 \text{ лк} < B < 8 \cdot 10^4 \text{ лк}$ ЛВХ имеют сублинейный участок. Эрстед-вольтовые характеристики линейны до напряженности магнитных $H \cong 50 \text{ кЭ}$.

Проведенные исследования показали, что на базе АФН-пленок $\text{PbSeSb}_2\text{Se}_3$ можно создать оптоэлектронный магнитометр с высокой чувствительностью и широким диапазоном напряженности магнитного поля (от 10 Э до 10^5 Э).

Важной особенностью ФМЭ-датчика магнитного поля является его автономный характер, т.е. возможность работы без источника электрического питания. Это представляет особенный интерес в условиях солнечной радиации. Быстрый выход вольт-люксовых зависимостей на насыщение обеспечивает нечувствительность описываемого фотоманнитометра к изменениям освещенности. Из результатов экспериментального исследования лабораторного макета следует, что ФМЭ-датчик должен обладать широким динамическим диапазоном, высокой чувствительностью и миниатюрностью. Слабая температурная зависимость фотоманнитного напряжения ($V_{\text{ФМЭ}}$) показывает, что эксплуатация такого датчика не требует специальных мер по термостатированию. Малые значения подвижности носителей по сравнению со значениями μ в датчиках Холла обеспечивают линейность зависимость $V_{\text{ФМЭ}}$ от H до полей $\sim 10^5$ Э. Оптоэлектронный вариант ФМЭ – датчика является оптоэлектронный трансформатор напряжения выполненной в виде оптоэлектронной пары из светодиода (У-18 А) и АФН – пленки

$\text{PbSeSb}_2\text{Se}_3$. Механическое соединение бескорпусного светодиода и АФН-пленки осуществлялось с помощью эпоксидной смолы Э-6.

Б78 Фотоэлектрический эффект в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом

Хайдаров З.

*Ферганский филиал Ташкентского университета информационной технологии,
Фергана, Узбекистан, mail:nursux_zokir@mail.ru*

Газоразрядная ячейка с плоским полупроводниковым электродом нашли достаточно широкое применение в области фотоэлектроники для регистрации оптического и инфракрасного излучения. Однако физические механизмы, происходящие в этой системе, до сих пор остаются неясными, так как в этой системе плоская

газоразрядная ячейка является чрезмерно тонкой, порядка 40 мкм. Условия возникновения разряда в этих зазорах достаточно не изучены. В настоящей работе приводятся результаты исследования сверхтонкой газоразрядной ячейки с полупроводниковым электродом.

Ранее нами проводились эксперименты при относительно высоком вакууме (10^{-5} Тор), когда длина свободного пробега электрона значительно превосходит толщину разрядного зазора и полностью исключается ударная ионизация газа [1]. При этом было доказано, что в реальных условиях эксперимента имело место достаточно сильная автоэлектронная эмиссия с поверхности полупроводника, которая при газовом заполнении играет роль поставщика в газовом разряде. Автоэлектронный ток контролировался сопротивлением полупроводника.

Эксперимент проводился при остаточном давлении газов 0,2 атм в полупроводниковой ионизационной камере. Полупроводниковым электродом служил кремний, легированный платиной. Интенсивность освещения имела значение 10^{-4} Вт/см² в области длин волн $\lambda=2,4$ мкм. Ход кривых температурных зависимостей темнового и фототоков повторяет в основном полученные нами результаты предыдущей работы [1]. Однако в области низких температур $T=80\div 100$ К имеет место скачкообразное изменения тока, причем зависимость фототока является нормальным, а темнового тока-аномальным.

Полученные экспериментальные результаты, по-видимому, можно объяснить следующим образом. Автоэлектронную эмиссию при темновом токе образуют равновесные носители тока. Их концентрация при низких температурах намного меньше, с повышением температуры их число и, тем самым, сила тока растет. Однако энергия электронов вырванных автоэмиссией с поверхности полупроводника недостаточна для образования лавин таунсенда. В наших условиях при температуре 95 К ток скачкообразно падает. Основная часть электронов вырванных автоэмиссией с поверхности полупроводника поглощается молекулами газа. Дальнейшее повышение температуры приводит к увеличению числа равновесных носителей и нарастанию тока, начинается таунсендовский лавинообразный разряд. Фототок при температуре 85 К имеет скачок вверх. В начале концентрация неравновесных носителей вырванных автоэмиссией всегда больше, только лишь их интенсивность недостаточно для лавин таунсенда. При повышении температуры равновесные носители играют роль подачи дополнительной энергии. И с этого момента со скачком начинается таунсендовский разряд.

Заметим, что скачкообразное уменьшение темнового тока и скачкообразное увеличение фототока - есть новый положительный эффект, влияющий на увеличение контрастности, т.е. на чувствительность полупроводниковой ионизационной камеры.

[1]. Парицкий Л.Г., Хайдаров З. // ФТП 1993, 27(11), с. 2017.

Б79 Исследование фотоэлектретного состояния в полупроводниковых пленках мышьяковистого галлия

Найманбоев Р., Хатамов С.О.

*Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан
e-mail:kutub-02@farpi.uz*

В настоящей работе приводятся результаты получения и исследования фотоэлектретов из различных полупроводниковых материалов.

Релакционные явления в АФН – эффекте, обусловленные носителями, локализованными на уровнях прилипания, должны обладать, по существу, той же природой, что и релаксационные фотоэлектретные явления. Поэтому можно полагать, что на основе АФН-пленок с микро-p-n-переходами могут быть получены фотоэлектреты нового типа, формирующиеся без внешнего поляризующего поля. Из теоретического анализа следует что, фотоэлектреты с большими характеристическими временами затухания фотонапряжения полностью обеспечиваются созданием достаточно глубоких уровней прилипания практически независимо от значений их концентрации и

эффективного сечения захвата дырки. Если выполняется условие экранирования электронами объемного заряда дырок на локальных уровнях ($n_0 \gg P_0^1$), то получаем, $\varepsilon_n - \varepsilon_v \geq 40kT$, $\varepsilon_c - \varepsilon_n \geq 10kT$, следовательно, фотоэлектрические явления в многослойных структурах с р-п-переходами могут возникать при ширине запрещенной зоны $E_g \geq 50 \div 60kT$, что при комнатной температуре составляет $1,2 \div 1,5 \text{ эВ}$. Фотоэлектрические рассматриваемого типа должны существовать в сравнительно низкоомных полупроводниках с неширокой запрещенной зоной и к тому же достаточно сильно легированных. Из приведенных выше оценок следует, что для создания таких фотоэлектрических перспективны мышьяковистый галлий и кремний. Мышьяковистый галлий на воздухе устойчив по отношению к водяным парам и кислороду. Поэтому защитный слой не нужен. Влияние примесей на фотоэлектрические, фотополяризационные (фотоэлектрические) свойства арсенида галлия исследовано подробно. Цинк и кадмий действует в *GaAs* как акцепторы, а сера, селен и теллур функционируют в качестве доноров. Лучше других в *GaAs* растворяются цинк и селен с образованием твердого раствора замещения. Прибавление большого количества этих элементов не увеличивает концентрации носителей. Медь в *GaAs* ведет себя как сложный акцептор, создающий не менее трех уровней, близко расположенных к потолку валентной зоны. Железо в *GaAs* также ведет себя как акцепторная примесь с энергией активации $0,37 \text{ эВ}$. Элементы IV-группы периодической системы: *Si*, *Ge*, *Sn* и *Pb* в малых концентрациях действуют как доноры, замещая атомы галлия. Для подготовки материала использовано методика получения *GaAs* в откаченных и запаянных кварцевых ампулах с применением вибрационного перемешивания. Разработанная технология легирования позволяет управлять степенью легирования фотоэлектрических на основе поликристаллических АФН-пленок *GaAs* непосредственно в процессе их конденсации на прогретые подложки этот метод позволяет получить фотоэлектрические со стабильными характеристиками и параметрами. Они имеют управляемые фотоэлектрические параметры, отличается простотой конструкции. Оптоэлектронное исполнение, таких фотоэлектрических представляют собой оптоэлектронное бистабильное устройство, перебрасываемое туда и обратно светом разного спектрального состава, соответствующего переходом зона-зона и уровень прилипания – зона неосновных носителей заряда. Для работы таких устройств не требуется внешнего электрического питания.

Б80 О дискриминации механизмов АФН-эффекта в пленках CdTe

Набиев Г.А.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

ferpi_info@edu.uz

Как известно, причиной, приводящей к эффекту аномально-больших фотонапряжений (АФН-эффект) в полупроводниковых пленках с периодическими р-п-р-переходами, является сложение некомпенсированных фотонапряжений в р-п и п-р-переходах. Считается, что различие в значениях генерируемого фотонапряжения возникает либо из-за асимметричного освещения р-п и п-р-переходов, либо из-за различия параметров этих переходов. Цель данной работы - показать, что на формирование АФН-эффекта влияют оба эти механизма и определить вклад каждого из них. Для этого получены пленки CdTe под различными углами осаждения, оставляя другие технологические параметры одинаковыми, и изучены зависимости АФН-эффекта от угла освещения пленок в пределах $0 \div 180^\circ$. Угловые зависимости имеют вид кривой с двумя максимумами без инверсии знака АФН. Минимум практически соответствует углу осаждения пленок, что согласуется с результатами изучения угловой зависимости АФН в пленках кремния, где механизм АФН-эффекта считается демберовским и при этом

генерируемое фотонапряжение для демберовского механизма при освещении под углом равным углу осаждения равно нулю. Численное значение первого максимума больше значения второго, что объясняется эффективностью первого барьера чем второго и даже при освещении со стороны второго барьера инверсия знака АФН не наблюдается. Роль второго перехода сводится только к уменьшению значения АФН.

Считаем, что значения АФН соответствует углу осаждения плёнок (равномерное освещение) есть фотонапряжение, генерируемое благодаря различиям параметров переходов. Разность между максимумом АФН и значениями АФН при равномерном освещении в угловой зависимости определяет вклад асимметрии освещения. В разных плёнках, полученных при различных технологических условиях, вклады этих двух факторов могут быть различными.

Таким образом, при рассмотрении АФН-эффекта в полупроводниковых плёнках с р-п-р-переходами обязательно нужно учитывать как фактор асимметрии освещения, так и различия параметров р-п и п-р-переходов.

Б81 Термополевая миграция вакансий Cd^{i+} и ионов In^{j+} в тонких пленках $CdTe:In$ с аномальным фотовольтаическим свойством

Каримов М.А.

Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан

karimov1@rambler.ru

Приборы на основе пленок A_2B_6 представляют собой многослойные тонкопленочные структуры, на границах которых происходит диффузионные процессы, приводящие к деградацию их характеристик. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал по изучению аномального фотовольтаического (АФВ) свойства пленок $CdTe$. Обстоятельно исследованы влияние технологических параметров на параметры фотоэдс, угловое, спектральные, вольтамперные, люкс-вольтовые, температурные и другие характеристики тонких слоев со стехиометрическим химическим составом и с нарушенной стехиометрией. Однако до сих пор не изучались электронные и атомные диффузионные процессы, структурные изменения при термической обработки (ТО), процессы формирования и разрушения АФВ напряжения ($\sim 10^3$ В/см) в зависимости от зарядового состояния и энергетического спектра. Структурные неоднородности, такие как собственные дефекты решетки, чужеродные примеси, поверхностные уровни не рассматривались. Так же не изучались электронные и атомные диффузионные процессы при ТО поликристаллических образцов с АФВ свойством, отличающиеся особой сложностью таковых в монокристаллах. Данное сообщение посвящено исследованию АФВ эффекта в легированных In , Cl пленок $CdTe$ и выяснению роли примесных центров в генерации аномально большого фотонапряжения.

Пленки $CdTe$ с толщиной $d=(0,3\div 0,8)$ мкм и площадью 5×20 мм² получались методом вакуумного напыления ($\alpha=(30\div 60)^0$) в вакууме ($\sim(10^{-3} \div 10^{-4})$ мм.рт.ст. на стеклянных подложках с температурой $T=(520\div 575)$ К. Легирование с примесью In осуществлялись непосредственно в процессе конденсации слоев $CdTe$. Затем пленки подвергались ТО в вакууме, на атмосферном воздухе в присутствии паров $CdCl_2$ при температуре $350\div 450^0C$ в течение $5\div 6$ мин. При освещенности $I\sim 10^4$ лк свежеизготовленные контрольные и легированные образцы генерировали АФН ~ 700 В/см, а ТО пленки $CdTe:In$ - $V_{АФН} \sim 2.5 \cdot 10^3$ В/см. Удельное сопротивление последних было на порядок ниже, чем у остальных. Анализ спектральных и люкс-вольтовых характеристик в широком интервале температур ($4\div 273$ К) показывает, что термическая миграция ионов n^{i+} и Cd^{j+} во внутрикристаллических электрических полях существенно стимулирует АФВ свойства пленок $CdTe: In, Cd$.

Б82 Спектры поглощения интеркалированных и легированных полупроводников $TlMC_2^{IV}$ (M-In, Ga; C-S, Se)

Мустафаева С.Н., Керимова Э.М., Гасанов Н.З., Абасова А.З.

*Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджана
AZ-1143, пр. Г. Джавида, 33, E-mail: ekerimova@physics.ab.az*

В настоящей работе исследованы оптические свойства монокристаллов $TlGaS_2$, $TlInSe_2$, $TlGaSe_2$ и влияние на эти свойства легирования железом и медью, а также интеркалирования ионами лития. Получены следующие основные результаты.

Интеркалирование монокристаллов ионами лития приводит к смещению энергетического положения экситонного пика поглощения, связанного с прямым переходом, в длинноволновую сторону. В частности, при 5К этот энергетический сдвиг составляет $\Delta E = 15$ мэВ. В результате интеркалирования коэффициент температурного сдвига этого экситонного пика вдвое уменьшался по абсолютной величине и составлял $\partial E^{экс}/\partial T = -1,1 \cdot 10^{-4}$ эВ/К в области $20 \leq T \leq 105$ К и $-0,25 \cdot 10^{-4}$ эВ/К в области $5 \leq T \leq 20$ К.

Изучение спектров поглощения монокристаллов $TlM_{1-x}Fe_xS_2$ (M-In, Ga) в широкой области температур $5 \div 200$ К показало, что ширина запрещенной зоны кристаллов $TlGa_{1-x}Fe_xS_2$ ($x=0,001; 0,005; 0,01$), как и у $TlGaS_2$, увеличивается с ростом температуры. Для $TlGa_{0,999}Fe_{0,001}S_2$ наблюдалась полоса экситонного поглощения ($h\nu = 2,58$ эВ при $T = 5$ К), которая с ростом температуры уширялась и смещалась в сторону больших энергий. Определены также значения энергий прямых оптических переходов в монокристаллах $TlIn_{1-x}Fe_xS_2$ ($x=0,005; 0,01$) при 5 и 300 К.

Изучение экситонных спектров поглощения легированных медью монокристаллов $TlInSe_2$ показало, что легирование приводит к смещению энергетического положения экситонного пика в длинноволновую область, а также увеличивает энергию связи экситона на краю поглощения: так, если для $TlInSe_2$ $E_{св}^{экс} = 20$ мэВ, то для $Tl_{0,995}Cu_{0,005}InS_2$ $E_{св}^{экс} = 31$ мэВ, а для $Tl_{0,985}Cu_{0,015}InS_2$ $E_{св}^{экс} = 54$ мэВ. Вычислены борковский радиус экситона и его эффективная масса.

Таким образом, легирование и интеркалирование монокристаллов $TlMC_2^{IV}$ приводят к модифицированию их спектров поглощения, изменению их экситонных характеристик, т.е. позволяют управлять их оптическими свойствами.

Б83 Импульсная ночная система вождения автомобилей

Кошавцев Н.Ф., Федотова С.Ф., Францева О.А., Новиков А.Д.

Филиал ОАО «Катод» «СКБ приборов ночного видения», Москва, Россия

Для повышения безопасности вождения автомобилей в темное время суток разработана импульсная ночная система вождения на основе ЭОП 2++ поколения производства ОАО «Катод», сочлененного через оптику переноса с ПЗС - камерой. Прибор обеспечивает видимость полотна дороги и обочины при освещенности 10^{-2} лк 215 м, а в тумане 40 м. Эта система также позволяет защитить водителя от ослепления фарами встречных машин. Поле зрения системы $6^\circ \times 9^\circ$. Водитель наблюдает изображение полотна дороги и обочины на экране монитора. Для обеспечения работы прибора в режиме стробирования разработан специальный мощный светодиодный осветитель. Частота следования импульсов составляет несколько килогерц. Чем более сложная метеорологическая обстановка, тем короче импульс подсветки.

Разработан и изготовлен образец прибора, включающий приемную часть с фильтром, электронные блоки питания и управления, контроллер. Проведены испытания прибора. Ведется работа в направлении размещения образца на автомобиле для проведения натурных испытаний.

Б84 Модернизация ночных стрелковых прицелов 1ПН34 и 1ПН58

Кошавцев Н.Ф., Федотова С.Ф., Францева О.А., Кускова М.А.

Филиал ОАО «Катод» «СКБ приборов ночного видения», Москва, Россия

Проведена модернизация ночных стрелковых прицелов 1ПН34 (НСПУ), серийно выпускавшихся с 1960 г., и 1ПН58 (НСПУМ), серийно выпускавшихся с 1970 г. Прицелы устанавливались на различные виды стрелкового оружия (автомат АКМ, АК74, снайперская винтовка (СВД), противотанковый гранатомет (РПГ-7, пулемет (ПКМ, РПК).

Прицелы были разработаны на основе трехкамерных электронно-оптических преобразователей (ЭОП) нулевого поколения, имеющих неравномерное распределение разрешающей способности по полю зрения (практически равное нулю на краю поля зрения), высокий уровень шумов, низкую чувствительность, недостаточное время наработки на отказ (500 час). В настоящее время серийное производство этих ЭОП прекращено.

Филиал ОАО «Катод» СКБ ПНВ провел модернизацию этих прицелов на основе современных бипланарных ЭОП 2+ поколения производства ОАО «Катод». При модернизации были сохранены габаритно – присоединительные размеры прицелов, что позволяет использовать их с теми же видами оружия. При модернизации была проведена замена старых ЭОП нулевого поколения, на современные ЭОП поколения 2+, замена первичных источников питания, замена подсветки сетки на светодиодную. Изготовлены образцы, проведены испытания, получено существенное повышение тактико-технических характеристик. Ведутся поставки.

Б85 Цифровой измеритель ночной освещенности

Кошавцев Н.Ф., Федотова С.Ф., Новиков А.Д., Кирчевская Т.К.

Филиал ОАО «Катод» «СКБ приборов ночного видения», Москва, Россия

Вместо морально устаревшего измерителя ночной освещенности «ФОН-8», разработанного ГУП СКБ ТНВ (г. Москва) разработан малогабаритный цифровой измеритель ночной освещенности «ЛЮКС-1» на современной элементной базе, со встроенным контроллером и автоматическим переключением пределов измерения.

Технические характеристики:

- Диапазон измерения, лк $5 \times 10^{-5} - 10^3$;
- Поле зрения, рад 2π ;
- Пределы допускаемой основной погрешности $\pm 10\% \pm 1$ цифра;
- Габариты, мм 168x115x113;
- Питание (батарея/аккумулятор, тип АА), В 4,5_{-1,3/3,6-1,0}.

«ЛЮКС-1» предназначен для измерения низких уровней освещенностей, создаваемых естественными и искусственными источниками света на любой произвольно ориентированной плоскости. Обеспечивает работу в ручном и автоматическом режиме, просмотр данных на дисплее, а также возможность подключения к компьютеру.

Б86 Управление функционированием производственных корпораций

Филачев А.М., Корнеева М.Д., Дворак А.И., Конвисар Н.П.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Управление функционированием производственных корпораций (ПК) целесообразно производить с использованием принципов скользящего планирования. При этом подразумевается наличие в каждый момент времени месячных, квартальных, годовых и стратегических планов ПК в целом, каждого из предприятий ПК, каждого

подразделения каждого предприятия. В процессе деятельности ПК эти планы гибко корректируются. Каждый план описывается совокупностью заданных плановых показателей в виде оборотов и сальдо соответствующих аналитических счетов бухгалтерского учета (включая забалансовые счета, учитывающие кадровый потенциал, номенклатуру выпускаемой продукции и производственные возможности), которые должны быть достигнуты к концу периода планирования. Контроль исполнения намеченных планов осуществляется путем сопоставления запланированных и достигнутых показателей.

Инструментальной основой управления является информационно-аналитическая система (ИАС) поддержки принятия производственно-экономических решений в процессе управления производственными корпорациями. При этом для управления каждой подсистемой ПК должна использоваться своя операционная модель функционирования ПК, более подробно описывающая счета и операции, относящиеся к функционированию данной подсистемы, и более агрегировано – относящиеся к функционированию других подсистем.

Основные подсистемы ПК-

- подсистема снабжения и сбыта - должна быть нацелена на достижение как можно лучшей положительной динамики показателей объема, себестоимости, валовой прибыли, процента выполнения обязательств по снабжению и поставкам, уровню разветвленности коммерческой сети;

- производственно-технологической подсистема - должна быть направлена на увеличение производственных возможностей предприятий корпорации и корпорации в целом; снижение себестоимости выпускаемой продукции; обеспечение конкурентоспособности всей выпускаемой продукции, как военного, так и гражданского характера;

- инновационно – инвестиционная подсистема – служит для формирования необходимых для поддержания и оживления производства оборотных средств, привлечению необходимых для активного внедрения перспективных разработок инвестиций;

- кадровая подсистема - сохранение и укрепление кадрового потенциала предприятий корпорации, активное привлечение грамотных и инициативных работников;

- подсистемы учета, анализа и планирования – направлена на снижение разницы между запланированными и фактическими значениями выпуска, реализации и оплаты, значения денежных средств, дебиторской и кредиторской задолженности, запасов.

Финансово-экономическая стратегия реформирования и развития корпорации является ведущей составляющей стратегии в целом.

Возможности сбыта продукции являются определяющими при разработке планов материально-финансовых потоков внутри корпорации. В этой связи одной из основных задач реформирования корпорации является задача организации регламентированного вполне определенными процедурами взаимодействия системы управления материально-финансовыми потоками корпорации (учет, анализ, планирование, оперативное управление) с системой централизованного сбыта и снабжения корпорации, службами сбыта, снабжения и оперативного управления предприятий. Эффективным организующим инструментом такого взаимодействия может служить система гибкого, скоординированного планирования деятельности предприятий, корпорации в целом, под которым подразумевается наличие в любой момент времени обоснованных реальными возможностями и жестко увязанных между собой тактического (на ближайший месяц), тактико-стратегического (на ближайший год), и стратегического (на ближайшие 5-10 лет) планов.

Б87 Устойчивость производственных корпораций

Филачев А.М., Корнеева М.Д., Дворак А.И., Конвисар Н.П.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Анализ устойчивости и управляемости корпораций базируется на дифференциальной оценке поведения во времени соответствующих параметров, которые в той или иной мере целесообразно использовать для оценки состояния производственной деятельности корпораций. При этом оговоримся, что ни в литературе, ни на практике нет указаний на наличие общепринятой системы параметров, используемых для анализа устойчивости и управляемости корпораций. Тем не менее, можно полагать, что существует ряд параметров, которые, с одной стороны, достаточно представительны с точки зрения возможности решения рассматриваемых задач, а с другой стороны, достаточно часто используются при анализе названных сторон производственной деятельности корпораций.

К таким параметрам относятся:

1. *Уровень, структура и динамика прибыли корпорации.*
2. *Уровень, структура и динамика рентабельности деятельности корпорации.*

Названные показатели являются основополагающими в том смысле, что их анализ в динамике позволяет вырабатывать рекомендации, которые адекватны изменениям этих показателей во времени. При этом выработка управляющих решений должна быть результатом анализа доходной и расходной частей финансовой деятельности корпоративного объединения предприятий. В процессе этого анализа представляется крайне значимой оценка безубыточности объединения в динамике.

Нахождение точки безубыточности корпоративного объединения предприятий позволяет определить:

- минимальный объём производства каждого изделия, обеспечивающий достижение точки безубыточности (при реальной продажной цене каждого изделия и себестоимости его производства);
- зависимость совокупного дохода от изменения цены каждого данного изделия;
- вес каждого частного (дифференциального) показателя безубыточности в значении интегрального показателя безубыточности.

Существенно значим анализ безубыточности изделий и корпорации в целом при решении ряда важных для нее задач:

- следует ли организовывать производство нового изделия;
- каков допустимый диапазон объема производства нового изделия (минимальный и максимальный объем производства) в зависимости от достижимой цены на рынке (платежеспособного спроса) и его емкости;
- рационально ли модернизировать производство, учитывая затраты на саму модернизацию, возможные дополнительные объёмы производства и прогнозируемую цену;
- оправдано ли введение в данную корпорацию нового предприятия и т.п.

Решение этих задач даже в первом приближении должно базироваться, прежде всего, на достаточно точных расчетах. Кроме того, решение задачи должно основываться и на прогнозных оценках конъюнктуры рынка к моменту появления новых изделий или модернизации производства, оценках наиболее вероятной цены (распределения вероятностей цены), возможных объемов реализации этих изделий и т.п.

Именно поэтому, наряду с возможностью учета расчетных данных по названным вопросам, система управления корпорации должна располагать также комплексом математических прогнозных моделей, ориентированных на использование информации, получаемой в результате менеджментных исследований.

Цель анализа стабильного производственного и финансово-экономического состояния корпоративного объединения предприятий состоит в комплексной оценке

источников средств (его пассивов) и оценке направлений их использования (его активов) на определенные периоды времени.

Следует заметить, что названные оценки должны быть получены в динамике, так как именно сравнительный анализ с учетом шкалы времени позволяет получить наиболее достоверную информацию о финансовом состоянии корпорации.

Б88 Принципы разработки комплексной программы создания корпорации на базе инновационных проектов.

Филачев А.М., Корнеева М.Д., Дворак А.И., Конвисар Н.П.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Комплексный организационный план создания ПК предполагает наличие взаимоувязанной системы мер по преодолению кризисной ситуации, характерной для большинства предприятий и объединений ОПК (антикризисному управлению ПК), и по организации базовых направлений организации процессов управления создаваемой ПК:

- выработки и реализации ценовой, маркетинговой и финансовой политики;
- организации эффективного учета и планирования;
- эффективного управления производственно-технологическими процессами, затратами и качеством продукции;
- эффективного управления интеллектуальной собственностью, внедрением инновационных проектов;
- эффективного управления кадрами и их обучением;
- внедрения программных средств, обеспечивающих процессы управления.

Повышение эффективности и устойчивости работы комплекса путём проведения антикризисных преобразований подразумевает решение следующих основных задач:

1. Нормативно-правовое обеспечение процессов реформирования путём разработки и принятия необходимых уставных документов и договоров, которые регламентируют вопросы создания и функционирования, создаваемых ПК (организационно-правовых, имущественных, налоговых и иных отношений между предприятиями и организациями, входящими в её состав, и регулирующими органами).

2. Оптимизация состава корпорации путем обоснованного отбора ее участников, разумного сокращения производственных мощностей и их приведения в соответствие с реальными объемами производства В и ВТ.

3. Решение имущественно правовых вопросов путем передачи головной компании ПК контрольных пакетов акций предприятий, входящих в ее состав, что позволяет снизить внутренние и внешние транзакционные издержки.

4. Обеспечение устойчивого развития системы научно-производственной кооперации и перераспределение производственных функций внутри корпорации.

5. Сохранение научно-производственного и мобилизационного потенциалов предприятий путем экономически и технически целесообразной передачи оборудования и технологий и организационно-правового обособления соответствующих производственных процессов.

6. Оптимизация долей государства в капитале предприятий для обеспечения эффективного управления и контроля ПК в части принятия решений по стратегии ее развития и использовании финансовых потоков.

7. Привлечение внебюджетных инвестиций для финансирования программ создания новых образцов ВВТ путем разработки механизмов и нормативных правовых актов, обеспечивающих улучшение инвестиционного климата и финансовую прозрачность корпорации.

8. Диверсификация производства в интересах наращивания объемов выпуска высокотехнологичной гражданской продукции и осуществление мероприятий по разработке и использованию технологий двойного назначения.

9. Обеспечение социальных гарантий работникам предприятий путем государственной поддержки мероприятий по социальной защите работников, включая внутривыпускное обучение, переподготовку кадров, создание дополнительных рабочих мест для высококвалифицированных специалистов.

10. Решение региональных вопросов с учетом межтерриториального размещения корпорации, в том числе урегулирование отношений с бюджетами субъектов РФ и местными бюджетами.

По мере выхода модернизируемого комплекса предприятий из кризисной ситуации антикризисное управление должно естественно и органично трансформироваться в управление общего характера, гибко адаптирующееся к конкретике текущего состояния ПК и экономической среды, в которой она функционирует.

Главными задачами разработки финансовой политики являются:

- максимизация прибыли предприятия;
- реструктуризация финансовых активов и пассивов предприятия, оптимизация структуры капитала предприятия и обеспечение его финансовой устойчивости;
- создание эффективного механизма управления и планирования финансов;
- достижение прозрачности финансово-экономического состояния предприятий для собственников (участников, учредителей), инвесторов, кредиторов;
- обеспечение инвестиционной привлекательности предприятия, использование предприятием рыночных механизмов привлечения средств.

Управление учетом и планированием целесообразно организовывать с использованием принципа единого представления планов и отчетов на базе единой утвержденной системы базовых и аналитических счетов бухгалтерского учета, включающей балансовые и забалансовые счета, учитывающие трудноформализуемые нематериальные активы (квалификационный потенциал коллектива ПК, патенты, KNOW HOW, ожидаемая выгода от перспективных производственно - экономических проектов и пр.). При этом месячные, квартальные, годовые и перспективные производственно-финансовые планы отдельных предприятий и корпорации в целом представляются в виде запланированных движений по утвержденным базовым и аналитическим счетам, а исполнение намеченных планов контролируется путем сопоставления запланированных и фактических движений по этим счетам. Предполагается также активное использование принципов скользящего планирования, позволяющего гибко корректировать намеченные планы в соответствии с фактическим разворачиванием событий.

Управление производством, затратами и качеством продукции целесообразно, проводить с использованием всех современных средств и технологий (CALC-технологий, математического моделирования минимизации всех затрат, активного использования рационализаторских предложений, мониторинга цен на закупаемое сырьё и материалы, поддержки стандартов ISO управления качеством продукции).

Управление интеллектуальной собственностью и внедрением разработок целесообразно проводить с использованием жесткой системы учета интеллектуальной собственности и развитой системы всесторонней оценки и отбора имеющихся разработок, беспристрастного анализа и отбора вариантов привлечения необходимых инвестиций с позиций объективных интересов корпорации (максимизации модифицированных чистых активов).

Управление кадрами и их обучением необходимо нацелить на максимизацию квалификационного потенциала коллектива ПК, измеряемого взвешенной суммой чисел работников, находящихся на разных уровнях профессиональной квалификации.

Для обеспечения устойчивого функционирования сформированных ПК необходимо реструктуризировать активы и пассивы комплекса в соответствии с условиями, вытекающими из методических рекомендаций по оценке финансового состояния предприятий и установлению неудовлетворительной структуры баланса Федерального управления по делам о несостоятельности (банкротстве). Управление

процессом реструктуризации может быть оптимизировано на основе разработанных операционных моделей.

Б89 Организация системы распределения продукции предприятия – перспективных фотоэлектронных модулей

Филачев А.М., Корнеева М.Д., Дворак А.И., Конвисар Н.П.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Определение типа канала распределения.

Для грамотной, отвечающей современной ситуации на рынке организации системы распределения продукции, для определения того, к какому каналу сбыта предприятию необходимо обратиться в том или ином случае, необходимо определить характеристики следующих составляющих маркетинговой среды:

Товар - матричные фотоэлектронные модули (ФЭМ) - это инфракрасные приборы, наукоемкая продукция, при использовании требующая от потребителя технической подготовки, предназначенная для реализации на промышленном рынке России и зарубежных стран, предполагающая долгий срок эксплуатации и возможность модернизации.

Потребители. На сегодняшний день принята следующая сегментация потребителей продукции ФГУП «НПО «Орион»:

– Государственные и бывшие государственные производственные предприятия, с которыми у ФГУП «НПО «Орион» сложились кооперационные связи со времен Советского Союза в рамках ВПК;

– Коммерческие производственные предприятия, занимающиеся разработкой и производством инфракрасной техники, а также использующие фотоприемники в другой аппаратуре и приборах.

– Зарубежные производственные предприятия, занимающиеся разработкой и производством инфракрасной техники, а также использующие фотоприемники в другой аппаратуре и приборах.

Конкуренты. Основными конкурентами в мире являются ведущие оптико-электронные фирмы развитых зарубежных стран, в которых разработка, производство и выпуск изделий микрофотоэлектроники ведется давно и планомерно. В России и ближнем зарубежье основными конкурентами являются заводы, также традиционно занимавшиеся производством фотоприемников и фотоприемных устройств в промышленном комплексе СССР и бывшие партнерами и потребителями научно-технической продукции ФГУП «НПО «Орион».

Рекомендации по организации канала распределения.

В нашем случае на основании вышеприведенных характеристик наиболее оправданным будет выбор прямого и очень короткого одноуровневого косвенного каналов. Прямой канал распределения будет использоваться в основном для первого из трех выделенных сегментов рынка. Косвенный же канал будет использован при работе с относительно новыми для нас сегментами рынка -- со вторым и третьим.

Эксклюзивное распределение, характерное для рынков наукоемкой продукции, требует высокой квалификации посредников-торговцев, технически подготовленных потребителей, наличие послепродажного консультирования, модернизации и гарантийного обслуживания.

Основной упор в распределении продукции необходимо делать на поиск и индивидуальную работу с крупными корпоративными клиентами, используя при этом прямые продажи, методы прямого маркетинга (каталоги, Интернет, рассылка сообщений по почте, факсу, электронной почте), участие в региональных и международных выставках. Помимо этого, необходимо организовать дистрибьюторскую сеть на первом

этапе по регионам России, а на последующих открыть представительства в иностранных государствах.

В качестве посредников необходимо привлекать формально независимых дистрибьюторов ИК-техники и комплектующих. Предприятие должно иметь возможность оценивать и контролировать дистрибьюторов на всех этапах их взаимодействия с потребителями. При отборе дистрибьюторов и последующем взаимодействии с ними предприятию необходимо разработать жесткие требования в соответствии со стандартами обслуживания клиентов, предъявляемые к компаниям-посредникам и следовать им.

Б90 Особенности маркетинговых инструментов применительно к продукции микрофотоэлектроники

Филачев А.М., Корнеева М.Д., Дворак А.И., Конвисар Н.П.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Продукция микрофотоэлектроники является продукцией промышленного назначения. При организации маркетинга продукции промышленного назначения существует ряд особенностей, которые мы учитывали при формировании плана маркетинга.

При приобретении продукции промышленного назначения существует многоступенчатый процесс принятия решения. Потребитель в таких случаях – коллективный, т.е. лицо, принимающее решение, плательщик и потребитель очень часто представлены не в одном лице. Все эти обстоятельства осложняют процесс продвижения продукции, осложняет прохождение стадий принятия решения о покупке. Положительное отношение, настрой на покупку одного лица не означает, что покупка будет осуществлена.

На рынках промышленных товаров преобладает система долгосрочных контрактов и оптовых закупок. Потребитель обычно верен сформированным каналам кооперации и поставок комплектующих узлов и деталей. Это облегчает работу с постоянными потребителями, но существенно осложняет поиск новых клиентов и выход на новые рынки.

Не очень эффективным нам представляется практика производства «на склад» продукции с универсальными характеристиками. Это мотивируется тем, что у каждого производителя конечной продукции имеется свое видение и требования к техническим характеристикам и конструкции.

Осуществление производства «под заказ» очень распространено на рынке промышленной продукции. Эта практика имеет как положительные, так и отрицательные моменты. Во-первых, работа по поиску и налаживание контакта с таким потребителем усложнено, так как нет возможности продемонстрировать продукт до его изготовления и осуществить отгрузку непосредственно после заказа. Но мировая практика показывает, что подобным образом действуют все ведущие фирмы-производители ИК-техники.

Неэластичность спроса на продукцию инновационного проекта к цене существенно снижает возможности использования приемов ценовой конкуренции, но не исключает ее. Цена играет определяющую роль при прочих равных условиях.

Спрос на данную продукцию имеет производный характер, он зависит от спроса на продукцию тех предприятий, которые являются нашими потребителями. Поэтому мы можем оценивать емкость рынка нашей продукции исходя из потребностей в приборах на основе ФЭМ. И можем оказывать воздействие на конечный спрос посредством пропаганды и лоббирования.

В связи с тем, что продукция промышленного назначения технически сложная продукция, нам необходим технически подготовленный покупатель. Но закупками обычно занимаются специалисты отделов снабжения, которые являются сотрудниками широкого профиля, а выход на узкоспециализированных специалистов осложнен. Помимо

этого для потребления нашей продукции необходимы особые условия, не каждый потребитель, готовый к покупке, имеет технические средства для использования нашего продукта.

Существует также проблема оценки спроса по первичной покупке. Между покупкой первой партии и вторичным заказом может пройти долгое время, т.к. потребителю необходимо разработать собственный продукт, в состав которого войдет наше изделие. Велика вероятность того, что вторичная покупка не состоится вообще, по причине разработки потребителем собственного аналога или неудачной разработки конечного изделия.

Существуют так же сложности в демонстрации технических возможностей продукции и оценки ее потребительских качеств покупателем. Крайне сложно предоставить потребителю пробный образец, а приобретать продукцию без уверенности в качестве и соответствующем техническом уровне продукции потребитель не готов. Эта проблема может быть решена посредством активной ПР-кампании по созданию положительного имиджа предприятия, а так же при помощи образцов ИК-техники, которые способны продемонстрировать технический уровень и надежность предлагаемой нами продукции.

Б91 Формирование бизнес-стратегии инновационного проекта по разработке и освоению производства матричных фотоэлектронных модулей (ФЭМ)

Филачев А.М., Корнеева М.Д., Дворак А.И., Конвисар Н.П.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработка бизнес-стратегии является необходимым элементом подготовки и реализации современного инновационного проекта, призванного быть рентабельным, экономически оправданным.

В рамках представленного инновационного проекта бизнес-стратегия разрабатывалась, основываясь на результатах базовых маркетинговых исследований при подготовке проекта и определении его основных составляющих:

- состав и номенклатура разрабатываемых изделий;
- сроки реализации;
- объемы финансовых вложений и планируемой выручки и т.д.

Исследования проводились по следующим направлениям:

- Зарубежные фотоэлектронные модули на российском рынке
- Российские дистрибьюторы зарубежной инфракрасной техники
- Российские производители ИК-техники на российском рынке
- Конкуренты на внешнем рынке.
- Мировые тенденции развития рынка ИК-техники.

По результатам исследований была составлена характеристика рынка, описаны сегменты рынка, на которые ориентируется проект и определена потенциальная емкость российского рынка ИК-техники.

При разработке товара учитывались возможности модернизации продукции и совместимость предлагаемой продукции с имеющимися у потребителей техникой и технологией, разрабатывалась также и упаковка.

Ценообразование продукции проекта проводилось на основе конкурентного паритета, исходя из себестоимости продукции.

Формирование каналов сбыта производится путем:

- прямых контактов с торговыми организациями;
- прямых контактов с потребителем;
- поиска фирм-посредников и дилеров, в т.ч. зарубежных;

- осуществления мероприятий по системе “директ-мейл” (прямая почтовая рассылка);
- активного участия в выставках и ярмарках;
- адаптации товара к специфическим требованиям конкретного покупателя.

В рамках построения бизнес-стратегии инновационного проекта также были сформированы:

- финансовый план с характеристикой и обоснованием финансовых потоков;
- производственный план (опытного и серийного производства) с детализацией выпуска по видам продукции, количеству и срокам;
- план по персоналу с привлечением высококвалифицированных сотрудников на новые производственные мощности, а так же программами по обучению молодых специалистов.

Абасова А.З. Б60, Б82
 Аббасов Ш.М. Б67
 Абдинов А.Ш. Б62, Б63
 Абдинов Д.Ш. А33, А71
 Абдинова Г.Д. Б44
 Абдуллаев Э.Т. Б49
 Авдеев С.П. У69
 Аветисян Г.Х. У19, А35
 Авраменко А.М. А74
 Агавердиева Г.Т. Б67
 Агаев З.Ф. А33
 Агасиев А.А. Б12, Б23
 Акимов А.Н. У47
 Акимов В.М. У76, У77
 Акимова Н.М. А07
 Алдохин П.А. А49
 Алеев Р.М. У60, П07, А59
 Алеева Н.В. У29
 Алекперова Ш.М. А20, Б70
 Алексеев Ю.В. Б73
 Алексеенко А.А. У54
 Алиев А.А. А20, А85, Б70
 Алиева Т.Д. Б44
 Алтиндал С. А45
 Алтухов А.А. У45, У49
 Алфимов С.А. П06
 Амирова С.И. Б64, Б65
 Анатычук Л.И. П03, У13, У14
 Андреев В.А. У29
 Андреев И.А. П11
 Андреев С.В. У09
 Андреева Е.В. А13
 Андронов А.А. Б48
 Антипова М.А. А75
 Анциферов А.П. П06
 Апатская М.В. А13
 Аракелов Г.А. У04, У16
 Арзамасов Д.И. Б73
 Асеев А.Л. А11, П06
 Аскеров К.А. А71
 Асланова А.Р. Б69
 Астафьев Н.К. У53
 Астахов В.П. А08, А09, А39
 Ахундова Н.М. Б44
 Ашихмина Т.В. Б03
 Ащеулов А.А. У15, У51
 Бабаева Р.Ф. Б63
 Бабенко А.А. У26
 Багирова А.Т. Б63
 Базарова Л.Н. У25
 Базовкин В.М. У03
 Бакин В.В. У68
 Бакуменко В.Л. А62, А63, У36
 Баранцев А.А. А41
 Бархалов Б.Ш. Б44, Б72
 Барч А. А16
 Баюканский М.А. Б17
 Бекташи М.Г. А71
 Белов А.Г. У25
 Белогорохов А.И. У25, А21, Б55
 Белогорохова Л.И. А21, Б55
 Белоконев В.М. П06, У19, У18
 Белоус А.И. Б47
 Белоусов Ю.И. П05
 Бенджи А. А45
 Беркин А.Б. У71, Б29, Б30
 Беспалко Н.И. У67
 Бехтин Ю.С. А41
 Биксей М.П. А38
 Билевич Е.О. А13
 Боброва Е.Ю. Б14
 Бодров В.Н. А47
 Боженко И.Б. У20
 Болтарь К.О. У01, У72, У73, У65, А02, А22, А36, А44, А82
 Бондаренко М.М. А89
 Бончик А.Ю. А16
 Борисов В.К. У77
 Бородин Д.В. У02, У05, У19, А35, А72
 Борошнев А.В. А73, Б56
 Бочков В.Д. У04, А75
 Брашеван Ю.В. А35
 Бройде Р. У11
 Брянцев А.А. А41
 Будкин И.В. А06
 Бужан П.Ж. У70
 Булат Л.П. У80
 Бурлаков И.Д. П02, У01, У72, У73, У65, А05, А36, А82, А83
 Бусарев А.В. П07
 Бушман С.В. А57
 Валишева Н.А. У03
 Ванюшин И.В. Б31
 Варавин В.С. П06, У26, А03, А03, А04, А10, А11, А17, А19, А86, Б48
 Варешкин М.Г. У78
 Василевич И.Н. А89
 Васильев В.В. У17, У26, У71, У40, А03, А04, А10, А11, А12, А54, А81, А87, Б29, Б30
 Васильева Л.А. У76, У77
 Васильева М.Ф. У56, У59

Вахитов М.А. А69, Б73, Б74
Величко А.А. Б43
Веприк А. У11
Вергелес П.С. А07
Виленчик Г. У11
Вилкова Е.Ю. Б05
Витковский В.В. Б25
Власов А.П. А16, А88
Власюк В.В. Б25
Войцеховский А.В. А03, А04, А14, А17, А81
Волков В.Г. Б17
Володин Е.Б. У18
Волочек М.Ф. У55
Ворович Э.Б. А42
Ворощенко А.Т. Б37
Вуйчик Н.В. А13
Гаврикова Т.А. Б51
Гаврищук Е.М. Б41
Гаджиев М.Б. У31
Гаджиева В.И. А71
Гаджиева Г.С. Б70
Гасанов И.С. А84
Гасанов Н.З. Б82
Гасанова Л.Г. Б60
Гахраманов Н.Ф. Б72
Гейдаров С.А. А84
Георгиевская Е.А. У70
Герасюк А.К. У55, У56, У57, У58, У59
Гергель В.А. Б31
Герман И.И. У44
Гнатив И.И. А79
Годованюк В.М. У51
Гоев А.И. У55, У56, У57, У58, У59
Голицын А.А. А53
Голицын А.В. А53
Головин С.В. У28, А29, А36
Голубев П.Г. У08
Голубков А.В. А24, А25
Гончаров Л.А. У34
Горелик Б.Д. У55, У57
Горелик Л.И. А57, А58
Горобинская Е.А. А52
Горшкова Н.М. Б31
Гременок В.Ф. Б47
Григорьев Д.В. А17
Григорьян В.Г. У34
Гринберг Е.Е. У58
Гринфельд Д.Э. У09, У33
Гришнева Н.Д., У27, А34, Б22
Громов А.В. У12
Громов Г.Г. У16
Грушин В.В. П10
Гузев А.А. У03
Гумаров Г.Г. У29
Гуменюк-Сычевская Ж.В. Б53
Гурин В.С. У54
Гусев Е.Ю. У69
Гусейнов Д.Т. Б61
Гусейнов Э.К. У30, А84, А85
Давыдов А.А. У27, Б22
Давыдов С.Е. А75
Дадашова В.В. Б60
Данилов В.Г. У71
Данилова Т.С. У28
Даниловский А.Е. У32
Данильцев В.М. У48
Дарчук Л.А. А13
Дворак А.И. Б86, Б87, Б88, Б89, Б90, Б91
Дворецкий С.А. П06, А03, У40, А03, А04, А11, А17, А19, А86, Б46
Дегтярев Е.В. П02, П06, У72
Дегтярева В.П. У09
Денисов И.А. У25, А21, А34, Б55
Дерюгин М.В. У01, А83
Джалилова Х.Д. А20, Б70
Джафаров М.А. Б62
Дзядух С.М. А03, А04
Дирочка А.И. У02, У38, А23
Добровольский П.П. А54, А55
Добровольский Ю.Г. У15, У42, У51
Довгялло А.И. Б03, Б11
Долганин Ю.Н. А39
Долгих А.В. У67
Долгошеин Б.А. У70
Дражников Б.Н. У04
Дроздов М.Н. У27, У48
Дроздов Ю.Н. У27
Другова А.А. У07, Б50
Дульцев Ф.Н. А81
Дучицкий А.С. Б19, Б20, Б21
Дятлов О.А. А89
Евсеева О.Н. А80, Б40
Егорова В.В. П07
Егошин К.В. А65
Елютин А.В. А21, Б55
Ермаков О.В. Б47
Ермаков О.Н. П09, А40, А48
Ефимов О.Н. П09, А48
Жаворонков Н.В. У27, А34, Б22
Жегалов С.И. У65, А60, Б32
Жуков А.А. А67
Жуков А.Г. А42
Жукова С.А. А66

Журавлев П.В. У37, А49, А54, А55, А56
 Забенкова Е.В. А50
 Забенькин О.Н. А27, А70
 Забудский В.В. Б53
 Завадский П.В. А78
 Завадский Ю.И. А35
 Загулин В.В. Б42
 Зайцев А.И. У32
 Закамов В.Р. У48
 Залесский В.Б. Б47
 Залетаев Н.Б. А28
 Заславский А.В. У23
 Зафар Кадыроглы Б61
 Захарьяш Т.И. А03, А04, А10, Т.И. А11, А54
 Звонова М.М. А66
 Земцова Т.А. А81
 Зеневич А.О. У39
 Зимогляд В.А. Б31
 Золотовская С.А. У54
 Зохидов И. Б54
 Зыков В.А. Б51
 Ибрагимов Т.И. У30, А85
 Иванейчик В.А. А89
 Иваненко А.Ю. А74
 Иваницкая В.Г. А77
 Иванов В.П. П10
 Ижнин И.И. А16, А88
 Иконников В.Б. Б41
 Икусов Д.Г. А01, А10, А19, Б46, Б48
 Ильин А.Л. У70
 Ильин В.И. Б51
 Илюшин В.А. Б43
 Исмаилов Т.Г. Б69
 Исмаилов Н.Д. У30, А84, А85
 Исмоилов И.К. А46
 Каган Н.Б. У77, Б39
 Казаков А.А. У05
 Казарова Ю.А. А75
 Камашева Н.М. А65
 Каплунов М.Г. П09, А48
 Карамалиев Р.А. Б68
 Каримов М.А. А46, Б54, Б81
 Карпов В.В. А08, А39, А09
 Картавенко А.В. У78
 Карташов В.А. П06, А19, Б46
 Касаткин И.Л. У02, А23, А24, А25, А26
 Касацкий Ю.В. Б13
 Касимов Р.М. Б68
 Касымахунова А.М. Б01, Б49
 Катаев О.В. А59
 Кашуба А.С. У28, А22, А29
 Керимова Т.Г. Б61
 Керимова Э.М. Б82
 Киреев В.А. У45
 Кириленко В.В. У56, У59
 Кирилин Н.М. У45, У49, А76
 Кирчевская Т.К. Б85
 Киселева Л.В. А26, А80
 Клемин С.Н. У70
 Климанов Е.А. У23, У76, У77, А74
 Клименко А.Г. А11, А87
 Климов А.Э. У47
 Клушин Ю.С. У20
 Ковтонюк Н.Ф. Б04
 Ковчавцев А.П. У03
 Козлачков А.А. У72
 Козлов А.Н. У32, У33, А11
 Козлов С.Д. П10
 Кокиль Жан-Марк У10
 Колесников А.В. Б46
 Колесников А.М. А83
 Коломин И.В. Б11
 Комаров В.В. Б24, Б25, Б26
 Комов А.А. У07, У50
 Конвисар Н.П. Б86, Б87, Б88, Б89, Б90, Б91
 Кондратов О.П. У20
 Кондратов П.А. У20
 Коновалов А.А. У25
 Кононов А.С. У36, А62, А63
 Концевой Ю.А. У49
 Корнеева М.Д. Б86, Б87, Б88, Б89, Б90, Б91
 Кортаев А.Г. А17
 Косковский С.В. Б19, Б20
 Косолапов Г.И. А56
 Костюков Е.В. Б45
 Костюченко В.Я. У74
 Косяченко Л.А. У43, У44
 Котков А.П. У27, А34, Б22
 Котов В.П. У05
 Кохенко А.П. А17
 Кошанов С.А. Б34
 Кошавцев Н.Ф. Б83, Б84, Б85
 Кравченко А.А. У68, У69
 Кравченко Н.В. А57
 Крайлюк А.Д. П06
 Крапухин В.В. А07, А08
 Краюшкина Л.К. П07
 Кремис И.И. У22
 Креопалов Д.В. Б42
 Критская Т.В. Б57
 Крошин В.М. А35

Крылов В.С. У74
 Кубарев В.В. У47
 Кудров В.Б. А02, А83
 Кузнецов А.В. А23
 Кузнецов П.А. У04, У23, А72
 Куликов В.Б. У05, У06, А73
 Куликов К.М. А57
 Кульчинский В.В. У43
 Кульчицкий А.Н. А14
 Кульчицкий Н.А. А14
 Курбатов А.В. У07, У50, А43
 Курбет И.Ю. У76, У77
 Курнявко Ю.В. У05
 Курт Х.Ю. Б33
 Курьшев Г.Л. У03
 Кускова М.А. Б84
 Кушнир С.Р. Б05
 Кязым-заде А.Г. Б60
 Ладугин М.А. А06
 Ларина Г.В. У25
 Ларцев И.Ю. А43
 Латыпов Я.М. А68
 Лебедева Н.Н. А18, Б12, Б14, Б23
 Левашов А.Н. А42
 Левинзон Д.И. Б58
 Лепендин А.В. Б31
 Ли И.И. У03
 Либерова Г.В. У78
 Липин М.В. У12, А50
 Лисейкин В.П. У77
 Ложников В.Е. А02, А36
 Локтионов В.И. У66
 Лопухин А.А. У02, А23, А24, А25, А26
 Лукин А.В. П10, Б21
 Лукьяненко В.И. Б37
 Лукьянов А.Ю. У48
 Лысюк И.А. Б53
 Ляликов А.В. Б39
 Маврин С.В. Б21
 Мазеев В.А. А42
 Макаров К.В. А51
 Малеваный П.П. П07, А59
 Малинин В.В. У64
 Малышко В.В. У14
 Мамадалиева Л.К. Б49
 Мамедов Г.М. Б64, Б65
 Мамедов Т.С. А18, Б33
 Мамедова С.А. Б62
 Маммадов Т.С. А45
 Мансветов Н.Г. А36, А83
 Мансветова Т.М. А36
 Мармалюк А.А. У05, А06
 Мартэн Жан-Ив У10
 Марченко В.А. Б28
 Марчишин И.В. А11, А55
 Матюшенко В.Г. А52
 Машуков Ю.П. А03, А04, А12
 Медведев А.С. А59
 Мезин Ю.С. А26, А80, Б40
 Мельник И.А. Б59
 Мельников А.А. А14
 Мельников А.Н. Б21
 Микертумянц А.Р. У76
 Милосердов С.С. У61
 Миронова Л.В. У26
 Мисник В.П. Б04
 Михайлов Д.В. Б74
 Михайлов Н.Н. А03
 Михайлов Н.Н. П06, У40, А04, А11, А17, А19, А86, Б46
 Моисеев А.Н. У27, А34
 Молдавская Л.Д. У48
 Монастырский Л.С. Б52
 Монастырский М.А. У09
 Мордвин Н.Н. У08
 Морозова В.Г. А60, Б32
 Муравьев А.Г. А74
 Мурель А.В. У48
 Муртазин А.М. У35
 Мустафаева С.Н. Б66, Б82
 Мынбаев К.Д. А88
 Набиев Г.А. Б75, Б80
 Назаров А.М. У31
 Найманбоев Р. Б77, Б79
 Насибов И.А. А85
 Насибуллин Р.А. У60, П07, А59
 Насиров Э.Ф. Б62
 Насретдинова Ф.Н. Б01, Б49
 Неизвестный И.Г. У47
 Несмелов С.Н. А03, А04, А14
 Несмелова И.М. У29, У53
 Нестеров И.А. У66
 Нигматуллина Р.Р. Б73, Б74
 Никитин М.С. У07, У50
 Никитина Г.И. Б45
 Николаев В.А. А74
 Новиков А.Д. Б83, Б85
 Новиков Е.В. У39
 Новоселов А.Р. А87
 Ноздрин Ю.Н. Б48
 Нужин А.В. Б10
 Нужин В.С. У52, Б07, Б10
 Нуриев И.Р. У31
 Нурмамедыва Ф.Н. Б67

Нуруллаев Ю.Г. Б72
Обижаев Д.Ю. А66, А67
Овсюк В.Н. У74, А11, А54, А55
Овсянников В.А. У62, У63, Б18
Овсянников В.Л. А64
Огнева О.В. Б39
Однолько Ю.Ф. У22
Озчелик С. А18, А45, Б33
Окомельков А.В. Б48
Олейник Г.С. Б37
Олейник С.В. Б13
Олимов Ш.А. Б49
Олихов И.М. У35, А42
Орбух В.И. Б14
Осипов Ю.В. У02, У05, У19, А35
Остертак Д.И. Б43
Падалко А.Г. А08
Панько О.И. А89
Паранчич С.Ю. У43
Парфенов Н.А. Б71
Патрашин А.И. У72
Пашкова Н.В. Б55
Пашкова О.Н. А08
Перепелицын Ю.Н. У27, Б22
Пермикина Е.В. У28, А29
Петров А.К. А57, А58
Петухов В.Ю. У29
Питик С.Д. У08
Половинкин В.Г. У03
Полторацкий А.В. А59
Полунеев В.В. П07, А44
Пономаренко В.П. П01, П02, П07
Попов Г.Н. У08, У64
Попова Е.В. У70
Поповян Г.Э. А05
Порошков В.П. У54
Поспелова М.А. Б45
Потелов В.В. У55, У56, У57, У58, У59
Придачин Д.Н. У26
Приходько В.Н. А69
Проскурин В.М. Б02, Б34
Протасов Д.Ю. У40, У74, А10
Прошкин Ю.Н. У25
Пулатов Н.Г. А46
Пундак Н. У11
Пылаев Ю.К. Б22
Радбиль Б.А. Б05
Раджабли А.А. У30
Разиньков В.В. П03, У13, У14
Раренко И.М. У44
Рева В.П. У17, У21
Редькин С.Н. П10, Б27
Резвина Н.В. А43
Резвицкий В.В. Б71
Ремесник В.Г. П06, У26, А86
Рзаев Р.М. Б63
Романюк В.Л. У15, Б47
Рудневский В.С. А44
Русак Т.Ф. Б45
Рыжков В.Н. У29
Рыков А.Н. А47
Рябиков В.М. Б71
Рябоштан Ю.А. А06
Сабинин В.Е. Б07, Б08
Сабинина И.В. П06, У26, Б46
Савин Д.В. Б41
Савкина Р.К. Б37
Савостин А.В. А26, А80
Савченко М.А. А39, Б42
Сагинов Л.Д. У72, У23, У65, У36, А41, А60, А62, А63, А74, Б32
Садыгов Р.М. У31
Саламов Б.Г. А18, Б12, Б23, Б33
Салий Я.П. Б38
Саликов В.Л. Б17
Самотаев Н.А. У19
Сарсембаева А.З. А13
Сахаров М.В. У73
Сахно В.И. У67
Свиридов А.Н. У65, У36, А62, А63, Б35
Седнев М.В. А82, Б40
Селяков А.Ю. А30, А31, А32
Сеник Б.Н. У55, У56, У57, У58, У59
Серегина Н.Н. У76
Сиваченко С.Д. А28
Сидоров Ю.Г. П06, У26, А03, А04, А11, А17, А19, А86, Б46
Сизов Ф.Ф. У17, У21, А01, А13, Б53
Скворцов С.В. А39
Склярлов С.Н. У57
Склярчук В.М. У43, У44
Смирнов А.В. А50
Смирнов Н.В. Б02, Б34
Смирнов Р.Н. П06, У40, А10, А19, Б48
Смирнова Н.А. У25, У28, А21, А34, Б55
Соколов А.В. Б04
Соколов Д.С. У35
Соколовский Б.С. А15, Б52
Солк С.В. У52, Б06, Б07, Б08, Б09, Б10
Соловьев А.П. А81
Солодков А.А. У06, У61, У72
Соляков В.Н. П07, У65, А41, А59, А60, А61, Б32
Средин В.Г. У73

Старый С.В. А01
 Стафеев В.И. П08, У24, У73
 Стахарный С.А. П09, А48
 Стратийчук И.Б. А79
 Сукач А.В. Б37
 Султанов Н.А. А37
 Султанова Ш.Н. А37
 Султонов Ш.Д. Б54
 Сунцов В.В. Б73, Б74
 Сусяков А.О. У26, А11, А54
 Сусов Е.В. У18, У47
 Суховой С.Б. У73
 Сучков А.И. У27
 Сычев А.С. У72
 Сюняев Л.З. А69, Б74
 Таджибаев М. Б36
 Талипов Н.Х. А17
 Тарасов В.А. У09
 Тареев А.М. А89
 Таубкин И.И. У41
 Тербан В.А. Б71
 Терехов А.С. У68
 Терехович Т.Ф. А36
 Терешин Е.А. У37
 Тетерин И.И. А59
 Тетеркин В.В. А01, Б37
 Тимофеев О.В. Б05
 Тимофеенко И.А. А66
 Тишин Ю.И. Б31
 Ткаченко В.Ф. У20
 Толстогузов В.Л. А52
 Томашик В.Н. А77, А79
 Томашик З.Ф. А77, А79
 Томилина Г.Ю. Б39
 Тохиров К.Р. Б76
 Тохиров М. Б76, Б77
 Трестман М.М. А65
 Триболе Филипп П04
 Тришенков М.А. У45, У49, А76
 Трошкин Ю.С. А05
 Трубицын В.Ю. Б58
 Трубицын Ю. В. Б57, Б58
 Труханов Е.В. Б46
 Турбин А.В. А49
 Уваев А.Г. У33
 Удалова А.Г. А22
 Украинский С.А. Б17
 Ульянова Е.О. А49
 Фараджев Н.В. А20
 Фараджова У.Ф. Б67
 Фатеев В.А. А55
 Федотова С.Ф. Б83, Б84, Б85
 Фейчук П.И. А77
 Фетисов Е.А. А74, Б34
 Фещенко В.С. У49
 Филатов Л.А. У70
 Филачев А.М. П01, П02, У32, П07, У36,
 Б86, Б87, Б88, Б89, Б90, Б91
 Филимонова Н.И. Б43
 Филиппов В.Л. У62, У63, А64, Б18
 Флоренцев А.А. Б55
 Фоменко А.Ф. Б25, Б26
 Фотий В.Д. У15, У42, У51
 Францева О.А. Б83, Б84
 Фреик И.М. Б38
 Фукс Б.И. У79
 Хайдаров З. Б78
 Хайрутдинов Б.Г. А69
 Хакушев П.Е. А27
 Харьковская Н.И. А65
 Хатамов С.О. Б79
 Хацевич Т.Н. А56
 Хисамов Р.Ш. Б73
 Холиддинов И.Х. Б01
 Холоднов В.А. У07, Б50
 Храпунов М.Л. У04, А72
 Хромов С.С. У23
 Цибрий З.Ф. А13
 Чекалин Н.С. У45
 Чеканова Г.В. У07, У50, А43
 Черкашин А.Е. У66
 Чернокожин В.В. У49, А35
 Четверов Ю.С. А66, А67
 Чеча Э.П. А89
 Чигирь Г.Г. Б47
 Чинарева И.В. А70, Б39
 Чишко В.Ф. У02, У46, А23, А24, А25,
 А26, А80
 Чурилов С.М. А49
 Шабашкевич Б.Г. А38
 Шаевич В.И. А07
 Шайблер Г.Э. У68
 Шаронов Ю.П. А02, А05
 Шатунов К.П. А49, А54, А55
 Шашкин В.В. А55
 Шашкин В.И. У48
 Шевцов С.Е. У52, Б08
 Шепель Л.Г. Б71
 Шергин В.С. Б25, Б26
 Шихов В.А. Б05
 Шленский А.А. У25
 Шлычков В.И. А51
 Шматов Н.И. У25, А34
 Шумский В.Н. У47

Шустров А.В. У45
Шушарин С.Н. А68
Щелев М.А. У09
Щербак Л.П. А77
Щербаков А.В. У32, У33
Щукин С.В. У23, А74
Эдельштейн Ю.Г. А61, Б15, Б16
Эминов Ш.О. У30
Эскин Ю.М. У45, У78, А76
Юлдашев Н.Х. А46

Юмашев К.В. У54
Якимов Е.Б. А07, А08, А09
Яковлев А.А. У52, Б06, Б09
Яковлев Ю.П. П11
Яковлева Н.И. У01, У72, А02, А22
Якунин С.Н. А80, Б39
Якушев М.В. У26
Ярошевич А.С. У68
Ярцев А.В. У75

Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное унитарное предприятие «НПО «Орион» развивается на базе созданного в 1946 году в Москве Научно-исследовательского института электронной оптики и инфракрасной техники (впоследствии НИИ прикладной физики - НИИПФ) и НИИ электронной и ионной оптики - НИИЭИО (затем НИИ «Орион»). В настоящее время ФГУП «НПО «Орион» является единственным в России Государственным научным центром в области фотоэлектроники.

В состав ФГУП «НПО «Орион» входят двенадцать научно-технических центров по всем актуальным направлениям современной фотоэлектроники. Общая научно-производственная площадь объединения, составляющая около 200 тысяч кв. метров, оснащена уникальным технологическим и метрологическим оборудованием. В 2003 году начата реконструкция производства фотоприемников и фотоэлектронных модулей, специализированных технологических линий и строительство новых производственных особо чистых участков на уровне мировых стандартов.

На предприятии работают около полутора тысяч высококвалифицированных специалистов, в том числе один академик Российской академии наук, три действительных члена и два члена-корреспондента отраслевых академий, 15 докторов наук, 95 кандидатов наук. Подготовка инженерных кадров осуществляется на базовых кафедрах в вузах Москвы - МФТИ (ГУ), МИРЭА (ТУ) и МИЭТ (ТУ), а научных кадров - в аспирантуре ФГУП «НПО «Орион». В объединении с 1946 года были подготовлены научные специалисты высокой квалификации - свыше 30 докторов наук и более 200 кандидатов наук.

Ученые ФГУП «НПО «Орион» опубликовали несколько тысяч научных статей в отечественной и зарубежной печати, написали более 20 монографий, ряд из которых опубликован за рубежом.

Специалисты объединения успешно выступают с докладами на всероссийских и международных конференциях и симпозиумах.

Специалистами объединения создано около 1000 изобретений, из них около 100 защищены патентами на изобретения, полезные модели, промышленные образцы и товарные знаки.

В апреле 2001 года в г. Орландо (США) под руководством ФГУП «НПО «Орион» в рамках Международной конференции была проведена русская сессия «10 лет ИК-техники в России».

Межотраслевые совещания по фотоприемникам и фотоприемным устройствам, проводившиеся в НИИ прикладной физики в период с 1962 по 1991 год, с 1998 года были возобновлены в ФГУП «НПО «Орион» в новом качестве - как Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Кроме того, с 1996 года на предприятии регулярно проводится Всероссийский семинар «Проблемы теоретической и прикладной электронной оптики».

ФГУП «НПО «Орион», совместно с ВИМИ и Московским физическим обществом, является учредителем научно-технического журнала «Прикладная физика», главным редактором которого с 1998 года является генеральный директор объединения А.М. Филачев.

За выдающиеся достижения в области науки и техники лауреатами Государственных премий стали 48 сотрудников объединения. Многие сотрудники предприятия удостоены правительственных наград и почетных званий. В 1996 году ФГУП «НПО «Орион» был награжден дипломом и премией Международного общества по оптической технике (SPIE) за значительные достижения в области оптической технологии. Изделия ФГУП «НПО «Орион» были неоднократно отмечены специальными призами, дипломами, медалями (золотыми, серебряными и бронзовыми) на отечественных и зарубежных выставках в России (ранее в СССР) и различных странах мира - США, Германии, Великобритании, Франции, Швейцарии, Бельгии, Колумбии, Китае, Южной Корее.

В настоящее время на предприятии представлены все виды высоких технологий - вакуумная, диффузионная, ионно-плазменная, электронно-лучевая, лазерная и другие, что обеспечивает выполнение исследований, разработок и выпуск изделий на уровне лучших мировых достижений.

ФГУП «НПО «Орион» разрабатывает и производит в широкой номенклатуре разнообразную продукцию для оснащения оптико-электронных приборов, лазерных систем связи и локации, систем наблюдения, навигации и дальнометрии в интересах науки, промышленности, медицины, космической отрасли, в том числе:

- фотоприемники и фотоприемные устройства (в том числе линейчатые и матричные), для широкой области спектра - от ультрафиолетовой до дальней инфракрасной (от 0,2 до 120 мкм) на основе различных полупроводниковых материалов (Si, Ge, GaP, GaAsP, GaAs, InGaAs, PbS, PbSe, InSb, CdHgTe, Si:X, Ge:X);

- микроэлектронные схемы считывания, усиления и обработки фотосигналов (в том числе для работы при криогенных температурах);
- технологические устройства для ионно-плазменной обработки поверхности, нанесения тонкопленочных покрытий различного типа, ионного травления тонкопленочных покрытий и электронно-лучевой сварки.

ФГУП «НПО «Орион» проводит разработки и имеет возможности выпуска изделий фотоэлектроники по требованиям заказчика в рамках хозяйственных договоров и международных соглашений.